



# **SYNTHÈSE DES RETOURS ISSUS DES CAMPAGNES DE MESURES IN SITU**

**PromevenTertiaire T2**

Novembre 2022

**ADEME – APPEL A PROJETS RECHERCHE**

*Vers des bâtiments responsables à horizon 2020*

# Synthèse des retours issus des campagnes de mesures in situ

## Récapitulatif de l'étude

Projet :	Projet PromevenTertiaire
Tâche :	Tâche 2 : Campagnes d'évaluation de l'application du (ou des) protocole(s)
Partenaires :	<u>Responsable de la tâche / sous-tâche</u> : ALLIE'AIR <u>Autres participants</u> : CETIAT, CEREMA, CETii, PBC, AQC, Effinergie
Objectif :	Evaluer sur site l'application du protocole et en tirer des conclusions pour son éventuelle évolution
Livrable :	Rapport de tâche
Rédacteurs :	Anne-Marie Bernard et Julien Boxberger ALLIE'AIR ; Ariane Lesage et Pascal Pelte CEREMA, Gilles Frances CETii, Pierre Barles PBC
Mots clés :	Contrôle, Diagnostic, Tertiaire,

Date	Version	Auteurs	Commentaires
15/10/22	V1.0	ALLIE'AIR ; CEREMA, CETii, PBC	
15/11/22	V1.1		Mise à jour à la charte graphique

## Liste des destinataires

Contact	Adresse	Nombre
Etienne Marx	ADEME - Agence de la transition écologique - Site de Valbonne SOPHIA ANTIPOLIS 500 Rte des Lucioles, 06560 Valbonne	1

## Résumé

Tâche 2 : campagne d'évaluation de l'application du ou des protocoles :

La tâche 2 a permis d'éprouver la version projet du protocole PromevenTertiaire. Trois sites ont été utilisés comme support afin de réaliser un audit complet du ou des systèmes de ventilation. Deux bâtiments d'enseignement (collège) et un bâtiment de bureaux.

Le protocole reprend les trois étapes suivantes : pré-inspection, contrôle fonctionnel et mesures fonctionnelles. Dans certains cas des mesures spécifiques ont été réalisées : étanchéité à l'air des réseaux de ventilation et mesure électrique par exemple.

Afin d'éprouver le protocole, les audits ont été réalisés avec plusieurs équipes afin de pouvoir travailler sur les aspects reproductibilité et répétabilité du contrôle.

Les contrôles fonctionnels ont été réalisés sur la base des fiches de relevés du protocole sur 100% des bâtiments ou des zones de bâtiments. Aucun échantillonnage n'a été appliqué. De même pour les mesures fonctionnelles lorsque ceci était possible. Ces dernières ont été réalisées au niveau des terminaux et au niveau global (CTA, en conduit, grille d'air neuf et de rejet, ...). Plusieurs typologies d'équipement de mesures ont été utilisées : cône+moulinet, balomètre, manomètre, ...

Les retours des campagnes de mesure sur site ont permis de compléter le protocole initialement mis en place et d'établir des recommandations pour de futures études et pour une révision des normes de débit.

# Sommaire

<b>1 Introduction</b>	<b>3</b>
<b>2 Description des campagnes menées sur site</b>	<b>4</b>
1.1 Bâtiment 1 : Collège 1 zone H1c	4
1.2 Bâtiment 2 : Collège 2 zone H3	5
1.3 Bâtiment 3 : bureaux zone H1c	6
<b>3 Enseignements de l'application du protocole lors des campagnes de mesures sur site</b>	<b>7</b>
3.1 Etape de la pré-inspection	7
3.1.1 Données de référence	7
3.1.2 Documentation incomplète	7
3.2 Etape des Mesures fonctionnelles	8
3.2.1 Système à modulation de débit et débit variable	8
3.2.2 Les mesures de débit	10
3.2.2.1 Mesures aux prises d'air et rejet d'air	10
3.2.2.2 Mesures en conduit	11
3.2.2.3 Mesures aux terminaux	15
a) Mesure au cône ou balomètre	15
b) Mesure de débit indirecte par la pression	19
c) Terminaux instrumentés	22
3.2.2.4 Mesures des débits d'une salle	26
3.2.2.5 Mesures des débits au niveau du caisson / de la CTA	26
<b>4 Synthèse et conclusions</b>	<b>28</b>
<b>5 Références bibliographiques</b>	<b>30</b>

# Liste des illustrations

Figure 1 : Extrait de la norme NF EN 16211 - exigences pour envisager un plan de mesure	12
Figure 2 : Extrait de la norme NF EN 16211 validation du plan de mesure .....	13
Figure 3 : Exemples de perturbations des flux .....	13
Figure 4 : Exemples de flux d'air après un ventilateur (source AMCA) .....	13
Figure 5 : Position des axes de mesure (extrait du prEN 16211 : 10/2022) .....	14
Figure 6 : Plan de mesure au soufflage sur le bâtiment 2 .....	14
Figure 7 : Bâtiment 3, local archive, bouches non affleurantes .....	15
Figure 8 : Bâtiment 1 salle EG01-207 – mesures aux terminaux avec 4 appareils de mesure .....	17
Figure 9 : Courbe de perte de charge d'un cône à moulinet .....	18
Figure 10 : Extrait de la norme NF E51 776-2 gabarit débit pression D125 et plus .....	22
Figure 11 : Poutre climatique sur le bâtiment 3 - bureaux .....	23
Figure 12 : Capillaire de mesure de pression sur une poutre .....	23

# 1 Introduction

Dans le cadre du projet PromevenTertiaire, trois campagnes de mesures sur site ont été menées entre octobre 2019 et mars 2021 afin de tester le protocole initialement élaboré et le faire évoluer en tenant compte des retours d'expérience.

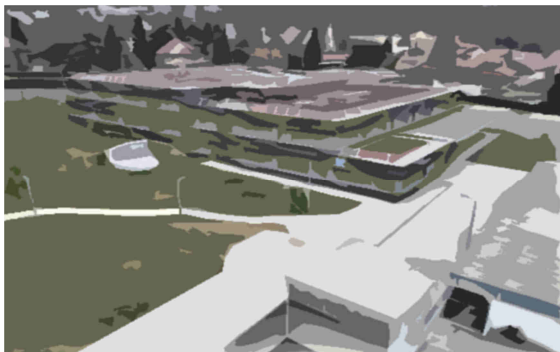
Éprouver le protocole sur le terrain a permis, d'une part, de valider les étapes qu'il est possible de réaliser de manière quasi systématique dans des bâtiments tertiaires, tout en pointant les aspects essentiels d'un diagnostic d'installation de ventilation, et d'autre part, de mettre en lumière les difficultés à effectuer certaines vérifications ou mesures en fonction des différents cas rencontrés.

Les bâtiments tertiaires sur lesquels l'équipe projet est intervenue sont deux collèges, l'un situé en zone climatique H1c, l'autre en zone H3, et un bâtiment de bureaux situé en zone H1c. Chaque campagne a fait l'objet d'un rapport individuel détaillé.

Ce document présente la synthèse des retours terrain des trois campagnes de mesure et synthétise les points d'attention vis-à-vis de l'application du protocole.

## 2 Description des campagnes menées sur site

### 1.1 Bâtiment 1 : Collège 1 zone H1c



#### Fiche d'identité Opération

- Type : Enseignement
- Nom : Collège 1
- Capacité : 500 élèves
- Zone climatique : H1
- Réhabilitation : 2017-2020
- Superficie du bâti : 4 500 m<sup>2</sup>

#### Préparation amont

- **Recueil de données**
  - Plans CVC phase DCE
  - Fiches techniques équipements de ventilation
  - CCTP du Lot CVC
  - Étude thermique projet
- **Visite préparatoire in situ début juillet 2019**
  - Rencontre maîtrise d'ouvrage
  - Pré-reconnaissance des lieux et des systèmes de ventilation installés
  - Choix de la zone à tester

#### Intervention

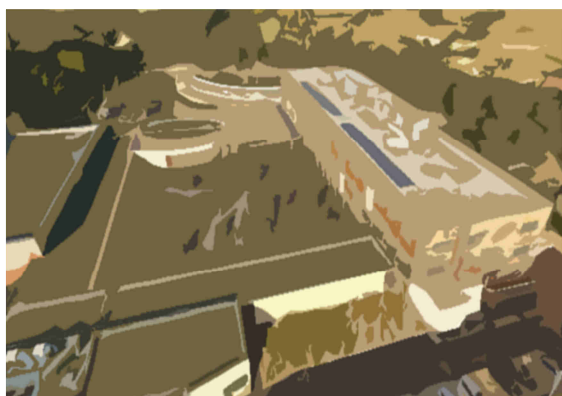
- **Phase préparatoire intervention**
  - Analyse des pièces fournies
- **Intervention in situ 21 et 22/10/2019**
  - Inspection visuelle (bâtiment/zone sélectionnée)
  - Mesures fonctionnelles (diffuseurs et conduits)

#### Aléas

- Documentation incomplète - manque les plans d'EXE
- Écart entre tracé du réseau prévu et exécuté
- Absence de dispositif de commande CTA (armoire électrique)
- Impossibilité de faire les tests réseaux : création de trappes
- Absence de personnel technique sur site



## 1.2 Bâtiment 2 : Collège 2 zone H3



### Fiche d'identité Opération

- Type : Enseignement
- Nom : Collège 2
- Capacité : 700 élèves
- Zone climatique : H3
- Partenariat Public Privé
- Année de construction : 2016
- Année de livraison : 2017
- Superficie du bâti : 10 000 m<sup>2</sup>

#### Préparation amont

- **Recueil de données**
  - Dossier des ouvrages exécutés
    - Analyse fonctionnelle
    - Plans CVC DOE
    - Note de calcul dimensionnement
    - Fiches techniques équipements de ventilation
    - Résultats mesures débits aux terminaux
    - Rapports de mesures étanchéité réseaux (2 CTA + VMC Logts)
  - Diagvent 2
  - PV essais COPREC
  - CCTP Lot CVC
  - Étude thermique projet (note de calculs détaillée et RSET)
- **Visite préparatoire in situ 30/09/2020**
  - Rencontre Maîtrise d'ouvrage
  - Pré-reconnaissance des lieux et des systèmes de ventilation installés
  - Choix de la zone à tester



#### Intervention

- **Phase préparatoire intervention**
  - Analyse des pièces fournies
- **Intervention in situ 27 au 29/10/2020**
  - Inspection visuelle (bâtiment/zone sélectionnée)
  - Mesures fonctionnelles (diffuseurs et conduits)

### Aléas

- Difficultés de piloter les organes de réglages
- Défaut électrique sur pilotes registres d'air / Absence retour GTC
- Maîtrise incomplète du fonctionnement de la GTC

## 1.3 Bâtiment 3 : bureaux zone H1c



### Fiche d'identité Opération

- Type : Bureaux
- Nom : Bureaux
- Zone climatique : H1
- Année de construction : 2021
- Superficie du bâti : 1 500 m<sup>2</sup>
- Spécificité : Poutres froides



### Préparation amont

- **Recueil de données**
  - Plans CVC phase EXE
  - Fiches techniques CTA, bouches et diffuseurs, poutres froides
  - Note de calculs dimensionnement Réseaux de ventilation et poutres froides
- **Visite préparatoire in situ**
  - Rencontre maîtrise d'ouvrage
  - Pré-reconnaissance des lieux et des systèmes de ventilation installés
  - Choix de la zone à tester

### Aléas

- Absence d'autorisation d'intervention : mise en fumée / milieu occupé
- Panne CTA
- Difficultés de pilotage de la GTC (code d'accès)
- Connaissance des locaux

### Intervention

- **Phase préparatoire intervention**
  - Analyse des pièces fournies
- **Intervention in situ 16 et 17/03/2021**
  - Inspection visuelle (bâtiment/zone sélectionnée)
  - Mesures fonctionnelles (diffuseurs, poutres froides, conduits)



# 3 Enseignements de l'application du protocole lors des campagnes de mesures sur site

## 3.1 Etape de la pré-inspection

### 3.1.1 Données de référence

Lors de la phase de collecte et étude des documents concernant les installations de ventilation, il se peut que l'opérateur dispose de plusieurs documents qui font référence à des débits globaux de soufflage et d'extraction différents. Le cas s'est présenté pour l'un des collèges, soulevant alors l'interrogation suivante : **quelle donnée choisir comme référence ?**

Des différences ont été constatées entre :

- Les valeurs de conception en phase DCE du CCTP
- Les valeurs d'EXE au dossier de récolement
- Les fiches de sélection des équipements, qui peuvent dater d'étapes différentes ou n'avoir pas pris en compte les dernières modifications du projet.

Quel document set de référence pour comparer les mesures ?

**Recommandation :** prendre en référence les documents d'exécution lorsqu'ils existent ou à défaut les documents les plus avancés dans la chronologie du projet. De façon générale, en tertiaire ces documents sont plus courants qu'en habitat.

**Lien avec les autres tâches :** Une explication pourrait être donnée au niveau du protocole.

### 3.1.2 Documentation incomplète

Sur un bâtiment (collège 1), les plans d'exécution n'ont pas été récupérés car il s'agissait d'une livraison en tranches.

Seuls les plans de conception (phase PRO-DCE) ont été mis à disposition de l'équipe projet PromevenTertiaire. De fait, la préparation de l'intervention sur site a reposé sur des plans qui n'étaient pas à jour. Ce qui a un impact sur le contrôle :

- pour le contrôle visuel
- et pour l'intervention sur les réseaux lors des mesures :

L'impact est également fort sur la localisation des réseaux de soufflage et de reprise, qui ne cheminent pas de la manière attendue. Leur repérage sur site est donc chronophage.

**Recommandation :** l'opérateur doit décider, soit d'un arrêt du contrôle s'il s'agit d'un contrôle de base, soit de poursuivre dans le cadre d'un contrôle spécifique.

## 3.2 Etape des Mesures fonctionnelles

Plusieurs questions et difficultés sont soulevées et sont décrites ci-après avec des suggestions de résolution ou de points à faire évoluer.

### 3.2.1 Système à modulation de débit et débit variable

Il faut définir les règles de contrôle de ces systèmes. La norme NF EN 12599 (2012), en cours de révision précise que si le système peut être mis au débit maximum, il faut faire les mesures à ce débit max, sinon il convient de reporter les conditions de la mesure.

Deux typologies de système courantes peuvent être distinguées dans les bâtiments tertiaire et une troisième moins courante mais pouvant être rencontrée :

1. Les systèmes tout air neuf, qui modulent le débit d'air neuf :
  - soit de manière asservie au nombre d'occupants directement (comptage) ou indirectement (CO<sub>2</sub>),
  - soit sous forme de détection de présence en mode tout ou peu ou tout ou rien.

Ces systèmes sont décrits en détail dans le guide sur la modulation des débits (air.h, 2017). Si le local est occupé au moment du contrôle on peut mesurer le débit d'air neuf en reportant le nombre d'occupants pour étudier sa cohérence avec l'attendu mais il faut noter toute variation forte d'occupation dans la période précédant la mesure (exemple salle pleine venant de se vider, salle vide avec mesureurs présents depuis 1 ou 2 minutes seulement...) car en régime transitoire, les systèmes selon leur temps de réaction peuvent ne pas immédiatement adapter le régime de ventilation au besoin ni instantanément purger les pollutions antérieures pour les systèmes à CO<sub>2</sub> par exemple.

2. Les systèmes dits VAV ou DAV à débit d'air variable qui modulent selon la température de la pièce en conditionnement d'air.

Ils sont asservis en température, généralement avec des lois proportionnelles mais aussi des zones mortes de déclenchement. Plus d'informations peuvent être trouvées dans plusieurs guides, mais peu sont en français comme par exemple le guide installation de climatisation à volume d'air variable (H, 1985). Des vidéos plus récentes sur You Tube expliquent en détail le fonctionnement mais en anglais [https://www.youtube.com/watch?v=jXV3i9\\_QOhQ](https://www.youtube.com/watch?v=jXV3i9_QOhQ). Ces systèmes sont pilotés par GTC presque systématiquement et dans certains cas peuvent être forcés, sinon il faut relever, outre les débits terminaux, les températures des locaux et extérieures, voire les températures d'eau si disponibles sur la GTC pour vérifier si les paramètres de fonctionnement sont respectés. Alternativement, une mesure de CO<sub>2</sub> peut être envisagée.

Pour les systèmes VAV avec recyclage (le plus courant), si le débit d'air hygiénique doit être vérifié on utilise un ratio d'air neuf dans l'air soufflé qui est déterminé au niveau de la CTA en mesurant le débit d'air neuf et le débit d'air total.

### 3. Les systèmes VAV qui modulent les débits en air neuf et en température.

Il faut comprendre le fonctionnement de la régulation qui peut agir sur le débit d'air et sur la motorisation du registre d'air neuf pour établir une règle de contrôle. Si un ratio d'air neuf est établi il ne faudrait pas qu'il soit sensiblement modifié pendant le contrôle ce qui n'est pas forcément facile à vérifier selon la grandeur des zones traitées et leur disparité d'usage et de fréquentation

Il en ressort que les systèmes dont les débits varient sont plus complexes à contrôler. Il faut établir quelques règles et avant tout choisir l'objectif visé :

1. Vérifier le fonctionnement prévu au cahier des charges, après spécification du document de référence à utiliser ; le concepteur s'étant assuré alors de prendre en compte les bons taux d'occupation
2. Vérifier les exigences réglementaires directement : mais ces dernières sont exprimées en débit à atteindre en occupation maximale et taux de CO<sub>2</sub> à ne pas dépasser en occupation nominale. Dans ce cas :
  - a. pour vérifier le taux CO<sub>2</sub>, il faudrait enregistrer le CO<sub>2</sub> pendant une occupation nominale des locaux, ce qui n'est pas réalisable dans un diagnostic à réception, souvent fait avant occupation des locaux.
  - b. pour vérifier le débit, il faudrait pouvoir forcer en mode maximal ou réaliser la mesure en occupation maximale, ces conditions étant difficilement réalisables (possibilité de circulation entre les occupants, perturbation de leurs activités, absence d'occupants avant réception)

Difficultés rencontrées sur site - bâtiment 1 et bâtiment 2 :

1. Établissement du mode de fonctionnement pour la mesure difficile à réaliser : ouverture des registres, déclenchement de la modulation, temporisation éventuelle, ...
2. Dans le cas d'une modulation au CO<sub>2</sub>, l'injection de gaz est compliquée à réaliser. La réaction du système n'est pas reproductible (cf. rapport bâtiment 1 - collège 1).
3. Difficulté d'ouverture des registres lorsque ceux-ci sont pilotés depuis la GTC (exemple bâtiment 2) : méconnaissance par l'exploitant et défaut de remontée d'information (défaut de câblage électrique et de régulation).

De plus, les systèmes étant souvent connectés, il est possible d'envisager des solutions mixtes comme par exemple :

- Mesure au jour j de la valeur en l'état de débit et vérification de l'information donnée par la GTC ;
- Récupération des données de la GTC après occupation pour vérification.

D'une manière générale, il est difficile de réaliser une mesure sur un système modulant les débits de ventilation :

1. Avec détection de présence : mesure complexe au débit foisonné (pour cela il faut connaître le coefficient de foisonnement et ouvrir le nombre adapté de registres) ou maximal si il n'y a pas de GTC. Il faut sinon stimuler les capteurs présence (attention à une éventuelle temporisation) ou débrayer manuellement l'ensemble des registres (attention en cas de régulation proportionnelle ou chrono-proportionnelle).
2. Avec détection de CO<sub>2</sub> : en complément de ce qui est déjà donné ci-dessus, il est difficile de réaliser la stimulation des capteurs CO<sub>2</sub> (cartouche ou bouteille).

**Recommandation :** Les normes de mesures tolèrent qu'en l'absence de « marche forcée », les mesures soient faites en l'état en reportant les conditions de fonctionnement et le seul contrôle possible est alors de vérifier que le système se situe dans la gamme de fonctionnement prévue. Ce contrôle peut cependant être plus ou moins poussé selon le niveau de contrôle demandé au cahier des charges.

### 3.2.2 Les mesures de débit

#### 3.2.2.1 Mesures aux prises d'air et rejet d'air

Le premier problème anticipé sur site est l'accessibilité aux conduits et aux grilles bien que les normes sur l'entretien des réseaux et la maintenance aient amélioré les pratiques. Néanmoins le protocole devra proposer d'autres options, comme la mesure en conduit par exemple.

Les problèmes constatés sur les sites ont été :

- **L'impact du vent :** lorsque le vent souffle fort et malgré la contre-pression normalement prévue à la conception dans le calcul de pertes de charge, les mesures peuvent être directement impactées, l'anémomètre utilisé étant perturbé par ces flux d'air extérieurs. Les campagnes de mesure réalisées dans ce projet ne permettent pas d'évaluer précisément.
- **L'impact de l'opérateur :** l'opérateur lui-même peut être intrusif lorsque sa présence pour réaliser la mesure obture la grille. L'emploi de perche peut être envisagé mais il faut vérifier alors que le point de mesure est stable.

Lors des campagnes d'essais sur site, l'absence de méthode normative sur les mesures aux grilles extérieures sujet a conduit à tester une méthode multipoints de type mesure en conduits. Sur 2 des sites expérimentés, une mesure par balayage, plus rapide, a également été testée. De nombreux facteurs liés à la méthodologie d'exécution (vitesse de balayage, sens, positionnement de l'appareil, ...) peuvent impacter le résultat et l'incertitude liée serait à confirmer.

Depuis ces campagnes, le projet de révision de la norme prNF EN 16211 a ajouté en annexe informative deux méthodes relatives à ces mesures qui jusqu'à présent ne figuraient pas dans la norme, bien que couramment employées :

- La méthode A3 du projet de juin 2022, est issue de normes de mesures des pays Scandinaves. Elle correspond à l'usage habituel pour ces mesures, mais n'utilise que 4 points de mesures sur toute la grille (la pratique en France dépendait de la taille de la grille comme dans les conduits, ce qui peut expliquer une différence surtout pour les très grandes grilles). En chaque

point, correctement repéré par l'opérateur, l'anémomètre est positionné pour prendre une mesure de la vitesse moyenne. Après les 4 mesures, un second passage reprend les valeurs. L'ensemble des mesures est ensuite moyenné et le débit en est déduit ensuite avec la section de la grille et un facteur correcteur selon l'angle des ailettes. La section prise en compte est la section nominale (potentiellement mesurable par l'opérateur). Ce facteur n'est fourni que pour des grilles inférieures à 1m de large ce qui peut expliciter le recours à seulement 4 points. La méthode est donnée avec une incertitude de méthode de 5 à 8%. Il n'y a pas de contrainte ou restriction liée au vent ou à la position de l'opérateur ;

- La méthode A2 a été proposée par la France suite aux essais effectués sur les sites Promevent, mais n'est issue que de deux séries de mesures, sur deux grilles différentes. Elle n'est pas fournie, de ce fait, avec incertitude de méthode, et la question de sa limitation en taille ou en généralisation risque d'apparaître à l'enquête. La méthode est moins longue et intuitivement plus généralisable que celle des 4 points puisqu'elle balaie toute la surface de la grille selon un parcours explicite. Elle est répétée 5 fois pour s'assurer que les vitesses mesurées ne varient pas de plus de 10%. Le débit est calculé en prenant en compte la surface effective de la grille, ce qui est plus précis (surtout pour des grilles avec de larges ailettes comme les grilles acoustiques, mais aussi dans tous les cas car les sections de passage des grilles extérieures varient fortement selon les fabricants. Ceci demande cependant d'avoir la documentation du fabricant disponible. Le vent est mesuré et ne doit pas dépasser 10% de la valeur mesurée à la grille ce qui peut poser quelques problèmes mais les 2 mesures réalisées ne permettent pas d'y répondre :
  - Les vitesses de vent moyennes en France sont de 4 m/s selon les relevés météo (omnidirectionnels) et les grilles sont normalement sélectionnées avec des vitesses effectives de 3 à 10 m/s environ ;
  - Les anémomètres utilisés pour mesurer aux grilles sont uni ou bi-directionnels et ne voient qu'une partie de la vitesse du vent. Deux directions de mesure ont été définies pour réduire cette sous-estimation mais est-ce suffisant ?
  - les méthodes fournies sans incertitude de méthode sont peu employables pour tout contrôle exigeant une incertitude de mesure.

Par ailleurs, l'accès à l'information de la vitesse de vent est difficilement récupérable en amont de la visite du site de l'opérateur pour lui permettre de valider ou non le maintien de sa venue sur le site

Néanmoins la méthode est potentiellement intéressante bien qu'insuffisamment testée pour un usage généralisé selon une norme.

### 3.2.2.2 Mesures en conduit

La norme NF EN 16211 (2015) donne des exigences très strictes sur le plan de mesure (cf. ci-dessous) sous deux formes (Figure 1) :

- Distances droites minimales avant et après le plan de mesure, et conditions de positionnement par rapport aux raccordements, agrafes...
- Définition de 3 conditions mesurables pour confirmer l'utilisation d'un plan de mesure.

### 8.2.2.2 Sections droites nécessaires avant et après le plan de mesure

Le profil d'écoulement a une apparence distordue après certaines perturbations du flux, par exemple coudes ou registres. Si la mesure est effectuée directement après une perturbation de flux, l'exactitude risque d'être médiocre. Pour cette raison, il est nécessaire d'utiliser des sections de conduits exemptes de perturbations, tant avant qu'après le plan de mesure, avec une longueur  $a$  telle qu'indiquée dans le Tableau 3. Le tableau donne les exigences minimales pour les sections droites et le plan de mesure choisi doit être vérifié conformément au 8.2.3.

Tableau 3 — Sections droites nécessaires avant et après le plan de mesure

Sections droites	Conduit circulaire	Conduit rectangulaire
Avant le plan de mesure	$a \geq 5 \cdot D$	$a \geq 6 \cdot D_h$
Après le plan de mesure	$a \geq 2 \cdot D$	$a \geq 2 \cdot D_h$

### 8.2.2.3 Mode opératoire pour la préparation et le choix des plans de mesure

- 1) Choisir l'emplacement du plan de mesure selon le Tableau 3, en tenant compte des sections droites requises. Après certains types de perturbations, parmi lesquels les registres d'étranglement, il peut être nécessaire d'utiliser des sections droites beaucoup plus longues. Dans le cas de conduits circulaires, il convient de situer le plan de mesure au moins 150 mm en amont de tout joint de conduit. Pour les conduits rectangulaires, il convient de situer le plan de mesure au moins 50 mm en amont de toute agrafe en C. Les conduits rectangulaires d'une dimension supérieure à 600 mm sont en général profilés transversalement pour plus de stabilité vis-à-vis des changements de pression. Il convient, si cela est possible, d'effectuer les mesures à partir d'un flanc non profilé.

Figure 1 : Extrait de la norme NF EN 16211 - Exigences pour envisager un plan de mesure

Ceci conduit à la nécessité de longueurs droites très importantes (de 7 à 8 fois le diamètre hydraulique), sans raccord ni obstacle, et n'est pas souvent réalisable sur site. Le Tableau 1 montre ce qui a pu être réalisé sur les sites en fonction des contraintes et possibilités :

Tableau 1 : Configurations des réseaux pour les mesures en conduit sur les 3 bâtiments

Bâtiment	Nombre diamètre en amont	Nombre diamètre en aval
1 – collège 1 terrasse	2,2 (aspiration air neuf)	6,2 (aspiration air neuf)
1 – collège 1 salle	3,3 (reprise) et 5,7 (soufflage)	2,4 (reprise) et 7,3 (soufflage)
2 – collège 2	1 (soufflage) et 1 (reprise)	1 (soufflage) et 1 (reprise)
3 - bureau	4 (aspiration air neuf)	1,5 (aspiration air neuf)

Le plan de mesure est ensuite validé par une exploration rapide des vitesses (Figure 2) et la vérification rapide de 3 critères indiquant un flux perturbé :

- La vitesse maximale (ou la pression dynamique maximale si la mesure est réalisée au tube de Pitot) n'est pas proche des parois (par exemple, après un coude, les écoulements se tassent près de la paroi) ;
- La vitesse maximale est inférieure à 1.4 fois la vitesse au centre (ou  $P_{dyn\_max} < 2 \cdot P_{dyn\_centre}$ ) car dans un flux équilibré cette vitesse maximale se situe au centre ;
- Il n'y a pas de refoulement, souvent constatés à proximité de ventilateurs ou de fortes perturbations (Figure 4).



Mesurer la pression dynamique au centre de la section droite.

Rechercher la position de pression dynamique la plus élevée et relever à la fois sa valeur et son emplacement.

Si cette pression maximale est localisée à une distance supérieure à  $0,1D$  ( $0,1D_h$ ) par rapport à la paroi du conduit, et si la pression dynamique maximale est inférieure à deux fois la pression dynamique au centre (anémomètre : la vitesse maximale est inférieure à  $1,4$  x la vitesse au centre), et si aucun refoulement n'est détecté dans la section droite, le plan de mesure est approuvé. Les points de mesure sont choisis comme indiqué dans le Tableau 4 pour les conduits circulaires et dans le Tableau 5 au Tableau 7 pour les conduits rectangulaires puis les mesures sont effectuées.

Figure 2 : Extrait de la norme NF EN 16211 validation du plan de mesure

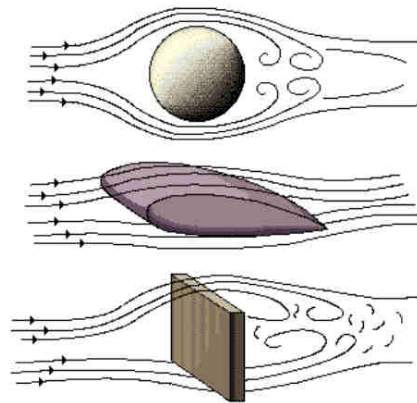


Figure 3 : Exemples de perturbations des flux

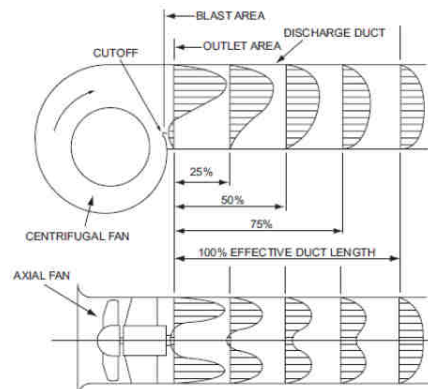


Figure 4 : Exemples de flux d'air après un ventilateur (source AMCA)

Les principales difficultés sont donc :

- Avoir une longueur droite suffisante de 6 à  $8.D_h$ .

Le critère quantitatif de vérification du plan serait-il acceptable dans un protocole sans trop augmenter l'incertitude de méthode (dite de 4 à 6% actuellement avec la combinaison des différentes conditions) ?

- L'accessibilité des appareils de mesure sur les deux axes (Figure 5)

Elle peut être parfois gênée par une autre gaine en dessous ou au-dessus, par des obstacles ou des passages de câbles.

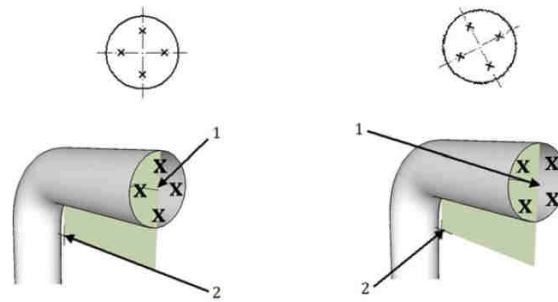


Figure 5 : Position des axes de mesure (extrait du prEN 16211 : 10/2022)

- La dimension de l'appareil de mesure vis-à-vis de la gaine

Il faut pouvoir enfiler un tube de Pitot coudé, prendre en compte le diamètre d'un fil chaud, vérifier la longueur de l'appareil de mesure pour les grandes gaines. Par exemple, sur le collège 2, seule une moitié du profil a pu être mesurée ce qui pose des questions sur la validité de la mesure (Figure 6.). Les gaines étant trop grandes et l'accès par le haut impossible, seul un demi-diamètre a pu être réalisé ce qui pose des questions de représentativité de la mesure si le profil n'est pas stabilisé. Se pose la question de l'utilisation d'une très grande rallonge pour le fil chaud, et en conséquence de la précision du positionnement du point de mesure, ainsi que la problématique de l'insertion pour les tubes de Pitot très longs, du fait du coude sur le tube.

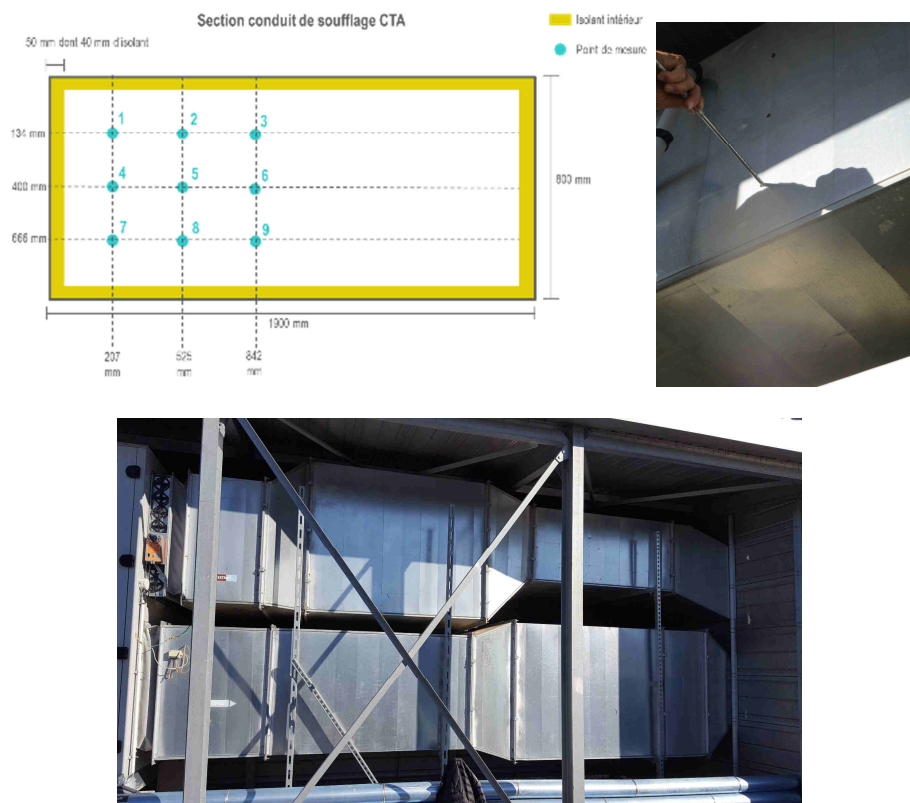


Figure 6 : Plan de mesure au soufflage sur le bâtiment 2

**Recommandation :** Dans le protocole, si la mesure ne peut être réalisée sur l'intégralité des deux axes, alors elle n'est pas retenue.



### 3.2.2.3 Mesures aux terminaux

#### a) Mesure au cône ou balomètre

Cette mesure n'est pas toujours possible, par exemple :

- Lorsque des terminaux sont directement montés sur la gaine, non positionnés en affleurement d'une paroi (Figure 7) ou positionnés en affleurement d'une paroi poreuse (faux plafond perforé) ;
- Lorsque les terminaux sont hors dimension des cônes et balomètres disponibles (grilles linéaires, diffuseurs à déplacement, poutre froide...).



Figure 7 : Bâtiment 3, local archive, bouches non affleurantes

Des écarts de mesures de débit liés à l'utilisation des cônes (avec ou sans compensation de pression) ont été relevés car ceux-ci peuvent être intrusifs en raison par exemple de la perte de charge de l'appareil peut modifier le point de fonctionnement. Il faut également veiller à respecter la plage de mesure de l'appareil, définie par le fabricant et le certificat d'étalonnage. Les règles définies dans le projet Promevent en résidentiel restent valables pour les gammes de débits et les bouches décrites dans ce projet.

Par exemple dans la salle EG01 - 207 - bâtiment 1 collège 1 lors des mesures en occupation (registre modulant ouvert), la somme des débits aux bouches (

Tableau 2) était inférieure au débit total mesuré en gaine (Tableau 3). Les mesures ont réalisées avec 4 cônes ou balomètres (Figure 8), et sont entourées en rouge dans le

Tableau 2.



*Figure 8 : Bâtiment 1 salle EG01-207 – mesures aux terminaux avec 4 appareils de mesure*

Tableau 2 : bâtiment 1 salle EG01-207 – mesures aux terminaux

Appareil		Cône + moulinet	Cône + fil chaud	Quadrillage de fil chaud	Cône avec croix de mesure et compensation	Manomètre + "bassine"	Balomètre	
Débit théorique (m <sup>3</sup> /h)		Tetso 417	kimo K75	kimo DBM 200	Flowfinder 600 x 600	Exhaust fan flow meter	Testo 420	
Soufflage	1	240	156	87	189	198	275	229
Soufflage	2	240	140	85	162	169	204	219
Soufflage	3	210	140	87	157	168	206	183
Soufflage	4	210	143	72	162	166	240	207
<b>Total</b>		<b>900</b>	<b>579</b>	<b>331</b>	<b>669</b>	<b>700</b>	<b>925</b>	<b>838</b>
Extraction	1	420				267		296
Extraction	2	480				297		328
<b>Total</b>		<b>900</b>				<b>564</b>		<b>624</b>

Tableau 3 : bâtiment 1 salle EG01-207 – mesures indirectes ou en gaine

Appareil		Manomètre			Manomètre + tube de pitot	Manomètre + tube de pitot	
Débit théorique (m <sup>3</sup> /h)		Pression au module de régulation	Lecture courbe selon perte de charge de la bouche	Méthode K à la bouche et lecture courbe	12599 pitot	16211 pitot	
Soufflage	1	240	93	240	223		
Soufflage	2	240	97	240	230		
Soufflage	3	210	84	218	180		
Soufflage	4	210	81	218	198		
<b>Total</b>		<b>900</b>		<b>916</b>	<b>830</b>	<b>927</b>	<b>943</b>
Extraction	1	420	32	Sans objet			
Extraction	2	480	36	Sans objet			
<b>Total</b>		<b>900</b>			<b>608</b>	<b>615</b>	

Lors de l'étude Promevent Résidentiel, des mesures de pression en amont du cône avaient été prises lors de l'étude des sensibilités des grilles sur des mesures sur un banc aéraulique. La Figure 9 présente les résultats de mesures de pertes de charge d'un cône à moulinet avec un cône élargi spécifique pour l'usage en tertiaire sur des bouches plus grandes.

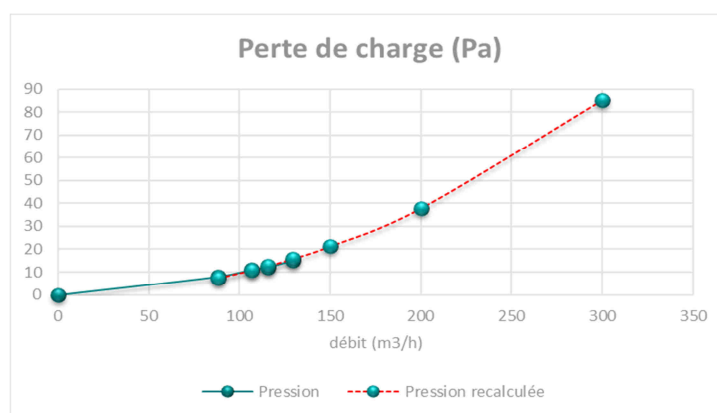


Figure 9 : Courbe de perte de charge d'un cône à moulinet

Ces résultats montraient une perte de charge de 16 Pa à 130 m<sup>3</sup>/h qui commençait à être intrusive en cuisine et qui peut devenir vraiment trop grande en tertiaire sur des débits plus élevés. L'extrapolation conduit à 21 Pa à 150 m<sup>3</sup>/h, 38 Pa à 200 m<sup>3</sup>/h et

85 Pa à 300 m<sup>3</sup>/h. Ces valeurs montrent bien la difficulté pour un système de compenser la perte de charge induite, et le glissement du point de fonctionnement.

Cet exemple pose le problème du type de cône à utiliser, s'il ne réalise pas de compensation de pression. Les balomètres ou cônes qui prennent la mesure en pression dynamique ou par fil chaud sont théoriquement moins intrusifs que les cônes avec moulinets.

**Recommandation :** Pour limiter l'impact des appareils sur l'équilibrage de l'installation, une limite de perte de charge pourrait être imposée, à ne pas dépasser lors des mesures. Ceci nécessiterait auparavant que les fabricants donnent des informations sur la caractérisation de la perte de charge de leurs appareils de mesure en fonction du débit, voire d'ajouter ce paramètre lors de l'étalonnage de façon à définir une gamme de débit utilisable.

#### **b)** Mesure de débit indirecte par la pression

Les branches terminales des réseaux du bâtiment 1 - collège 1 étaient équipées de modules de régulation autoréglables installés en aval des registres de modulation des débits. Ces modules sont donnés ou réglés pour assurer un débit constant selon une plage de pression de fonctionnement donnée. Des mesures de pression en amont de ces modules ont été réalisées sur ce site en complément des mesures de débit aux terminaux (uniquement sur la salle EG 01 -207), et présentées dans le

#### Tableau 4.

Les modules de régulation installés avaient une plage de fonctionnement en pression de 50/250 Pa. Les mesures étaient cohérentes au soufflage (comprises entre 50 et 250 Pa) et non-cohérentes à la reprise (inférieur à 50 Pa).

Tableau 4 : bâtiment 1 salle EG01-207 – mesures de pression en amont des modules de régulation

		Appareil	Manomètre
		Débit théorique (m <sup>3</sup> /h)	Pression au module de régulation (Pa)
Soufflage	1	240	93
Soufflage	2	240	97
Soufflage	3	210	84
Soufflage	4	210	81
<b>Total</b>		<b>900</b>	
Extraction	1	420	32
Extraction	2	480	36
<b>Total</b>		<b>900</b>	

Cette mesure, afin d'être valide, nécessite que le module de régulation installé corresponde à la gamme de débit prévue sur l'étude de dimensionnement. Ces modules ne sont généralement plus visibles en phase de livraison/réception d'un bâtiment et il n'est alors pas possible de les contrôler (débit) sans être destructif. Il faut ainsi supposer, pour analyser les mesures, que les modules installés sont les bons.

**Recommandation :** Un contrôle en cours de chantier, à la pose de ces modules, permettrait de s'assurer que ceux-ci sont installés conformément aux plans et à la note de calcul du bureau d'études.

La mesure de la pression au niveau des bouches d'extraction est décrite dans la norme NF E51-777 (2016), et elle est devenue une procédure courante maintenant, en particulier pour la vérification des installations de ventilation des bâtiments résidentiels selon le protocole Ventilation RE2020.

En tertiaire, il est courant de trouver des registres autoréglables dans les installations de ventilation et ce fut notamment le cas dans le bâtiment 3 (bureaux) en amont des poutres froides qui ne pouvaient pas être mesurées directement.

L'aptitude à la fonction autoréglable des registres est couverte par la norme NF E51-776-2 (2018) qui exige que les modules fournissent un débit compris entre 0,95 et 1,2 fois le débit nominal dans les pressions entre P<sub>min</sub> et P<sub>max</sub> fournies par le fabricant (Figure 10), ces valeurs s'appliquant aux registres supérieurs au D125, les plus courants. Tout registre testé devrait donc se trouver dans ce gabarit.

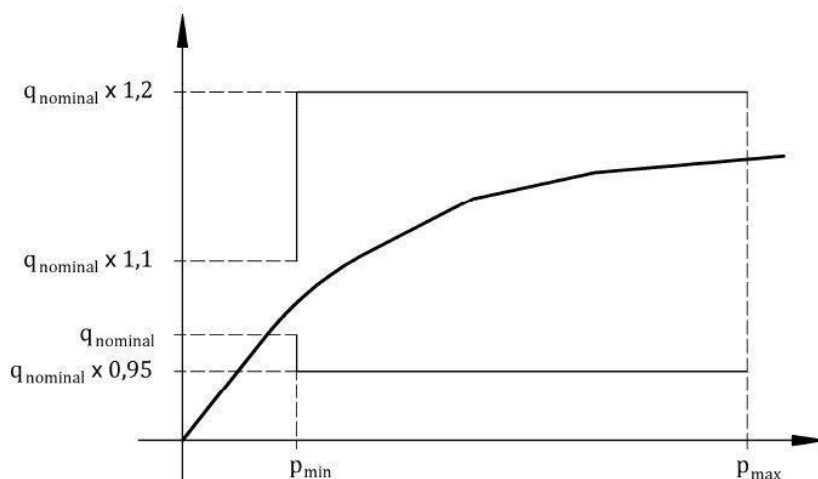


Figure 2 — Exemple de courbe caractéristique débit - pression pour des diamètres de raccordement > 125 mm

Figure 10 : Extrait de la norme NF E51 776-2 gabarit débit pression D125 et plus

**Recommandation :** A l'occasion de la révision de la norme NF E51-777, il serait souhaitable d'ajouter dans son domaine d'application et dans son titre, les mesures au niveau des registres autoréglables et les mesures en soufflage, pour en faire une méthode reconnue en tertiaire (et en soufflage pour le résidentiel).

Attention cependant, cette méthode de vérification ne prend pas en compte les fuites entre le registre et le terminal, qui peuvent modifier le débit distribué dans le local, surtout dans le cas de distances élevées entre le registre le terminal. Cette restriction sera de moins en moins applicable avec la poursuite de l'évolution des étanchéités des réseaux en tertiaire et la généralisation des mesures d'étanchéité.

De plus, il sera nécessaire de veiller à ce que le registre installé soit conforme à celui prévu en termes de débit : choix du composant ou réglage.

### c) Terminaux instrumentés

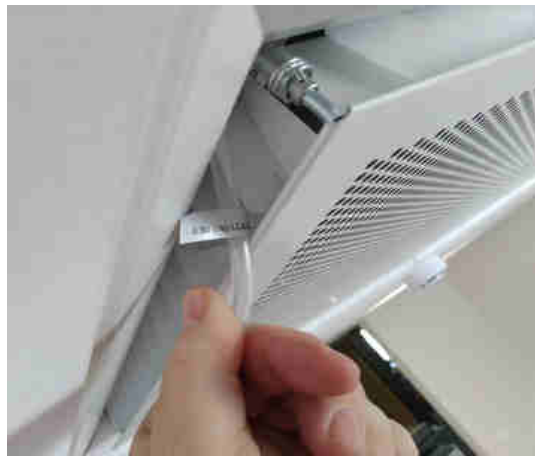
Le bâtiment 3 (bureaux) était équipé de terminaux de soufflage de type poutres climatiques alimentées directement en air neuf par le réseau de soufflage de la CTA (Figure 11).





*Figure 11 : Poutre climatique sur le bâtiment 3 - bureaux*

Conformément à la documentation technique du fabricant, le débit d'air primaire (air neuf amené au terminal) est alors calculé en fonction d'une mesure de pression réalisée sur la poutre (capillaire installé, Figure 12). Cette valeur de pression est ensuite corrigée d'un facteur  $k$  (défini par le fabricant) et une formule permet de calculer le débit.



*Figure 12 : Capillaire de mesure de pression sur une poutre*

Pour ce bâtiment, des mesures de pression ont été réalisées sur l'ensemble des poutres installées afin d'en déterminer le débit global, présentées en

Tableau 5.

Tableau 5 : Extrait des mesures de pression dans le bâtiment 3

Etage	Zone / salle	Branche note de calcul	Numéro/référence poutre froide	Pression mesurée (pa)	Pression corrigée (Pa)	Coef K	Débit calculé (m3/h)	Débit théorique (m3/h)	Ecart (%)
R+1	Détente	Soufflage 1	14	103	103,0	1,84	67	65	3%
R+1	Détente	Soufflage 1	15	88	88,0	1,84	62	65	-4%
R+1	Bureau	Soufflage 1	17	53,6	53,8	2,19	58	80	-28%
R+1	Bureau	Soufflage 1	18	52,7	52,9	2,19	57	80	-28%
R+1	Bureau	Soufflage 1	19	49,9	50,1	1,28	33	45	-28%
R+1	Bureau	Soufflage 1	20	52,8	53,0	1,28	34	45	-25%
R+1	Comex	Soufflage 1	22	48	48,2	2,19	55	80	-32%
R+1	Comex	Soufflage 1	23	56,2	56,4	2,19	59	80	-26%

*Nota : les écarts relevés sont principalement dus à un mauvais raccordement des flexibles isophoniques terminaux entre les poutres et le réseau rigide.*

Aujourd'hui, de plus en plus de terminaux sont déjà instrumentés (poutres climatiques, plénums...) et il convient de s'assurer de la méthode employée par le fabricant pour déterminer le débit. Beaucoup de fabricants scandinaves et maintenant européens, fournissent notamment le facteur k de leur produit qui permet de calculer le débit à partir d'une mesure de pression.

Si ces fabricants ont caractérisé leur produit selon la norme NF EN 14277 (2006), il est rappelé que celle-ci :

- « *Concerne les dispositifs fixes de mesure du débit d'air en conduit intégré dans des bouches de soufflage/extraction d'air ou boîte<sup>1</sup> similaire* ».
- « *Spécifie des méthodes d'essai aérodynamique en laboratoire permettant de déterminer la courbe d'étalonnage de ces dispositifs ainsi que leur sensibilité aux perturbations de l'écoulement* ».

La norme NF EN 14277 (2006) teste plusieurs perturbations d'écoulement et s'assure de la distance nécessaire à respecter pour que la mesure soit à 5% près de précision, ce qui confère une très bonne fiabilité à cette méthode.

**Recommandation :** Réaliser les mesures de pression au niveau des terminaux instrumentés pour déterminer les débits, pour les produits caractérisés selon la norme NF EN 14277.

<sup>1</sup> Lire plénum

### 3.2.2.4 Mesures des débits d'une salle

Si l'objectif est de contrôler un débit réglementaire ou de conception, il peut être utile de mesurer un débit par salle.

Il a été observé sur le bâtiment 1 – collège 1 que la somme des deux débits de soufflage dans un local n'égalait pas la mesure en conduit (cf. 3.2.2.2) et montrait un écart de mesure supérieur à ce qui était attendu. L'aspect intrusif du cône a été mis en exergue.

Le Tableau 6 et le Tableau 7 présentent des comparaisons de méthode de mesure en conduit et en terminal.

Tableau 6 : Bâtiment 1 - Salle EG01 – 207 - somme des débits mesurés aux terminaux de soufflage

#### Mesure en inoccupation (m3/h)

	débit théorique	Tetso 417	kimo K75	kimo DBM 200	Flowfinder 600 x 600	exhaust fan flow meter (bassine)	Testo 420
<b>Total</b>	<b>480</b>	<b>412</b>	<b>224</b>	<b>476</b>	<b>491</b>	<b>611</b>	<b>631</b>

Tableau 7 : Bâtiment 1 - Salle EG01 – 207 - débits mesurés en conduit sur la gaine principale de soufflage

#### Mesure en inoccupation (m3/h)

	débit théorique	12599 pitot	12599 fil chaud	16211 pitot	16211 fil chaud
<b>Total</b>	<b>480</b>	<b>676</b>	<b>690</b>	<b>682</b>	<b>697</b>

Les mesures réalisées en conduit présentent peu d'écart selon les différentes méthode et équipements de mesure utilisés. Des écarts de l'ordre de 40 à 70% ont été relevés selon le type d'équipement de mesure utilisé au niveau des terminaux de soufflage par rapport à ces mesures en conduit, considérées comme fiables dans ce cas de figure. Cela rejoint ainsi l'hypothèse formulée précédemment sur le risque d'impact de l'appareil de mesure sur le point de fonctionnement de l'installation (caractère intrusif) à partir d'un débit de l'ordre de 150 m<sup>3</sup>/h.

NB : pour les systèmes à recyclage, le débit par salle doit être corrigé du rapport air neuf/air total en CTA pour représenter l'air neuf de la salle.

### 3.2.2.5 Mesures des débits au niveau du caisson / de la CTA

Le débit peut être mesuré en conduit ou parfois au niveau des grilles de prise/rejet d'air. Comme il y a également une sensibilité à l'étanchéité du tronçon entre la mesure et la CTA, il est recommandé de limiter la longueur de réseau CTA-grille surtout si le réseau n'est pas classé.

La pression aux bornes du caisson / de la CTA peut être difficile à mesurer, car il faut positionner le capillaire de façon à prendre une mesure de pression statique dans la CTA, en étant protégé de la pression dynamique. La bonne pratique est de le positionner affleurant, perpendiculaire à la paroi mais cela est rarement faisable si ce n'est pas prévu à l'installation.

Une autre mesure de pression statique peut être réalisée proche du raccordement, dans le conduit, et permet d'estimer le  $\Delta P$  à la CTA.

Pour les caissons qui affichent la pression disponible au soufflage ou à la reprise, cette information peut être utilisée. Si cette pression disponible est une pression totale et non statique, il est recommandé de mesurer quand même une pression statique et de rajouter la pression dynamique calculée à partir du débit sur la section de mesure pour réduire l'incertitude.

Lorsqu'une mesure dans la CTA est impossible, il faut se reporter sur les méthodes de mesure en conduit.

Les GTC peuvent parfois relever et afficher des valeurs mais l'incertitude associée à ces valeurs n'est pas connue.

## 4 Synthèse et conclusions

La synthèse des points de difficultés d'application du protocole et les suggestions proposées pour y remédier est présentée dans le Tableau 7. Les besoins d'évolution des normes de mesure répertoriés dans le cadre de cette tâche sont présentés dans le Tableau 9.

Tableau 8 : Synthèse des points de difficultés de mesure et suggestions concernant le protocole

Etape	Point de difficulté relevé	Suggestion
Définition et objet de la Mission	Les contrôles réalisés sur site doivent être comparés à des valeurs de référence. Le diagnostic vise les débits du CCTP, ou des documents d'exécution. Un contrôle réglementaire impliquerait également une analyse de la conception (taux d'occupation, dimensionnement, lien entre taux de CO2 et débits/personne, etc.)	Préciser le plus tôt possible sur quel document de référence devra s'appuyer le contrôle de l'installation pour pouvoir effectuer l'analyse de la conformité.
Pré-inspection	Informations différentes entre les différents documents de conception, d'exécution et installation	Prendre les données EXE ou chronologiquement les plus proches sinon
Pré-inspection	Réalisation d'une visite de préparation	Récupérer les éléments manquants. Anticiper les difficultés.
Mesures fonctionnelles	Système modulant ou VAV	Tester au débit max forcé si possible, sinon, noter les conditions de fonctionnement.
Mesures fonctionnelles	Systèmes à recyclage	Appliquer le ratio débit AN/Total mesuré à la CTA aux débits mesurés dans les pièces ou aux terminaux
Vérifications et mesures fonctionnelles	Absence de technicien sur site (exploitation)	Préparer l'intervention en amont en demandant la présence d'une personne responsable de l'exploitation.
Mesures fonctionnelles	Non accessibilité aux grilles extérieures	Réaliser des mesures en conduit
Mesures fonctionnelles	Difficulté à trouver une longueur droite suffisante pour les mesures en conduit	Recommander les longueurs minimales avant/après mais accepter des distances inférieures si les critères d'acceptation de la NF EN 16211 sont atteints
Mesures fonctionnelles	Conduit : Difficulté à insérer la sonde dans la gaine en cas de gaines empilées ou proches	Autoriser une adaptation sur site ?
Mesures fonctionnelles	Bouches non affleurantes, plafonds non étanches entraînant une mesure au cône/balomètre impossible	Renvoyer aux autres mesures possibles
Mesures fonctionnelles	Terminaux instrumentés	réaliser les mesures sur des unités testées selon NF EN 14277
Mesures fonctionnelles	Aucune méthode de mesure applicable	A voir selon donnée affichée au niveau de la CTA ou de la GTC : relevés des débits par exemple.

Tableau 9 : Synthèse des suggestions d'évolution des normes de mesure

Norme	Point relevé	Suggestion
PrEN16211 (2022)	Mesures de vitesse aux grilles extérieures : clarifier si la méthode A3 est limitée à des grilles de 1m	Action en enquête publique et dans le protocole S'inspirer des positions des points d'exploration de vitesse en conduits pour les très grandes grilles A valider par des essais complémentaires
PrEN16211 (2022)	Mesures de vitesse aux grilles extérieures : La méthode de balayage A2 est décrite mais ne fournit pas d'incertitude de méthode pour différentes tailles de grille	Etude complémentaire nécessaire pour généraliser à des grilles de différentes tailles et de différents types, et évaluer l'incertitude de mesure associée
PrEN16211 (2022)	Mesures de vitesse aux grilles extérieures : Impact du vent	Etude complémentaire nécessaire pour évaluer l'impact du vent sur les mesures
NF E51-777	les mesures sur des registres autoréglables ne sont pas dans le domaine d'emploi de cette norme	A rajouter lors de la révision de cette norme ou en créer une spécifique

Il ressort également des interventions les points suivants :

- Les interventions se sont déroulées pour deux d'entre elles dans un contexte de COVID qui n'a pas rendu les visites faciles. Cela a également eu un impact sur le temps de réalisation des audits.
- Les interventions ont été réalisées sur deux collèges et un bâtiment de bureaux. Le protocole proposé à partir de ces retours n'est donc basé que sur ces typologies de bâtiment.
- La grande majorité des mesures, basée sur des normes ou non, ont malgré tout pu être réalisées sur les sites choisis.

Les pistes de réflexion pour renforcer le protocole utilisé dans les campagnes de mesure sont les suivantes :

- Réaliser des contrôles sur d'autres typologies de bâtiment (exemple : hôpitaux, hôtels, restaurants, ...) pour compléter certains types de mesures.
- Travailler sur le choix des équipements de mesures et notamment le côté intrusif de certaines typologies d'appareils.
- L'absence de règle de l'art officielle en termes de conception et mise en œuvre (exemple : norme ou DTU) rend également compliquée l'analyse des contrôles mais également le déploiement à grande échelle sur le terrain.

## 5 Références bibliographiques

- air.h (2017). *Guide pratique sur la modulation des débits de ventilation dans le tertiaire.*
- NF E51-776-2 (2018) *Ventilation des bâtiments - Appareils de régulation de débit d'air en conduits - Partie 2 : caractéristiques et aptitudes à la fonction autoréglable.*
- H, S. (1985). *Guide installation de climatisation à volume d'air variable.* (S. 2901, Éd.)
- NF E51-777 (2016). *Systèmes de ventilation pour les bâtiments - Mesurages de débit d'air dans les systèmes de ventilation - Méthode de mesure de pression aux bouches autoréglables et hygroréglables.*
- NF EN 12599 (2012) *Ventilation des bâtiments - Procédures d'essai et méthodes de mesure pour la réception des installations de conditionnement d'air et de ventilation.* (en cours de révision).
- NF EN 14277 (2006) *Systèmes de ventilation pour les bâtiments - Bouches d'air - Méthode de mesure du débit d'air à l'aide de capteurs étalonnés dans ou à proximité des boîtes type bouche/plénum.*
- NF EN 16211 (2015) *Systèmes de ventilation pour les bâtiments - Mesurages de débit d'air dans les systèmes de ventilation – Méthodes*





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

Appel à Projets Recherche

"Vers des bâtiments responsables à horizon 2020"

Édition 2018