

---

---

## Mesurage de la qualité de l'air d'un tunnel routier

*Measurement of road tunnel air quality*

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

[ISO 23431:2021](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c09e222a-4ddf-4dd9-abe7-b7d2ae6e5182/iso-23431-2021)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c09e222a-4ddf-4dd9-abe7-b7d2ae6e5182/iso-23431-2021>



## iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

ISO 23431:2021

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c09e222a-4ddf-4dd9-abe7-b7d2ae6e5182/iso-23431-2021>



### DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2021

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office

Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8

CH-1214 Vernier, Genève

Tél.: +41 22 749 01 11

E-mail: [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)

Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

Avant-propos.....	v
Introduction.....	vi
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b> <b>Termes et définitions</b> .....	<b>1</b>
<b>4</b> <b>Paramètre d'essai — Vitesse et sens du courant d'air</b> .....	<b>3</b>
4.1 Généralités.....	3
4.2 Principe.....	3
4.3 Appareillage.....	4
4.3.1 Instrument.....	4
4.3.2 Dispositif de mesure de référence de la longueur du trajet (instruments à trajet ouvert uniquement).....	4
4.3.3 Capteur de débit étalon de transfert.....	5
4.4 Mode opératoire.....	5
4.5 Contrôles et étalonnages des instruments.....	5
4.5.1 Généralités.....	5
4.5.2 Longueur du trajet de mesure (instruments à trajet ouvert uniquement).....	6
4.5.3 Contrôle initial.....	6
4.5.4 Étalonnage de section.....	6
4.5.5 Contrôle du zéro.....	7
4.5.6 Contrôle des composants du système.....	7
4.5.7 Contrôle fonctionnel de la précision.....	7
4.6 Maintenance.....	8
4.6.1 Généralités.....	8
4.6.2 Contrôles sur site.....	9
4.7 Calcul et expression des résultats.....	9
4.8 Incertitude de mesure.....	9
<b>5</b> <b>Paramètres d'essai — Monoxyde de carbone, oxyde d'azote et dioxyde d'azote</b> .....	<b>10</b>
5.1 Généralités.....	10
5.2 Principe.....	10
5.3 Appareillage.....	11
5.3.1 Instrument.....	11
5.3.2 Baromètre de référence.....	12
5.3.3 Thermomètre de référence.....	12
5.3.4 Dispositif de mesure de référence de la longueur du trajet (pour les instruments à trajet ouvert uniquement).....	12
5.3.5 Dispositif de mesure de référence de la longueur du trajet de la cellule d'étalonnage à débit continu (pour les instruments à trajet ouvert uniquement).....	12
5.4 Mode opératoire.....	13
5.4.1 Instruments de mesure à trajet ouvert.....	13
5.4.2 Instruments de mesure en un seul point.....	14
5.5 Contrôles et étalonnages des instruments.....	14
5.5.1 Généralités.....	14
5.5.2 Instruments de mesure à trajet ouvert.....	14
5.5.3 Instruments de mesure en un seul point.....	16
5.5.4 Longueur du trajet de mesure (pour les instruments à trajet ouvert uniquement).....	16
5.5.5 Longueur de référence de la cellule d'étalonnage à débit continu (pour les instruments à trajet ouvert uniquement).....	16
5.5.6 Contrôles de la température et de la pression.....	17
5.5.7 Air de zéro.....	17

5.5.8	Atmosphère d'essai de référence.....	17
5.5.9	Contrôle du zéro.....	17
5.5.10	Étalonnage du zéro.....	18
5.5.11	Contrôle du point d'échelle.....	18
5.5.12	Étalonnage du point d'échelle.....	19
5.5.13	Contrôle de précision multipoint.....	19
5.5.14	Contrôle des composants du système.....	20
5.6	Maintenance.....	21
5.6.1	Généralités.....	21
5.6.2	Nettoyage des interfaces optiques.....	21
5.6.3	Remplacement de la source lumineuse/d'une cellule électrochimique.....	21
5.6.4	Alignement optique.....	21
5.7	Calcul et expression des résultats.....	22
5.8	Incertitude de mesure.....	22
<b>6</b>	<b>Paramètre d'essai — Visibilité.....</b>	<b>22</b>
6.1	Généralités.....	22
6.2	Principe.....	23
6.3	Appareillage.....	24
6.3.1	Instrument.....	24
6.3.2	Dispositif de mesure de référence de la longueur du trajet.....	25
6.4	Mode opératoire.....	25
6.4.1	Transmissomètre.....	25
6.4.2	Instrument de diffusion de la lumière.....	26
6.5	Contrôles et étalonnages des instruments.....	26
6.5.1	Généralités.....	26
6.5.2	Contrôle du zéro.....	27
6.5.3	Contrôle du point d'échelle.....	27
6.5.4	Étalonnage du zéro et du point d'échelle.....	28
6.5.5	Contrôle de précision multipoint.....	28
6.5.6	Contrôle des composants du système.....	28
6.6	Maintenance.....	29
6.6.1	Généralités.....	29
6.6.2	Nettoyage des interfaces optiques.....	29
6.6.3	Remplacement de la source lumineuse.....	29
6.6.4	Alignement optique du transmissomètre.....	29
6.7	Calcul et expression des résultats.....	30
6.8	Incertitude de mesure.....	30
<b>7</b>	<b>Contrôle et assurance de la qualité.....</b>	<b>30</b>
7.1	Généralités.....	30
7.2	Journal d'instrument.....	30
7.3	Acquisition et transfert des données.....	31
7.4	Validation des données.....	31
<b>8</b>	<b>Rapport d'essai.....</b>	<b>32</b>
	<b>Bibliographie.....</b>	<b>33</b>

## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier, de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir [www.iso.org/brevets](http://www.iso.org/brevets)).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir [www.iso.org/avant-propos](http://www.iso.org/avant-propos).

Le présent document a été élaboré par le Comité technique ISO/TC 146, *Qualité de l'air*, sous-comité SC 3, *Atmosphères ambiantes*.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse [www.iso.org/fr/members.html](http://www.iso.org/fr/members.html).

## Introduction

L'objectif du présent document est de fournir aux maîtres d'ouvrage et exploitants de tunnels routiers des méthodes normalisées pour la vérification et l'étalonnage des instruments utilisés dans les tunnels routiers afin de surveiller en continu la vitesse de l'air, les concentrations en monoxyde de carbone (CO), en oxyde d'azote (NO) et en dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) ainsi que la visibilité.

Les données de ces instruments permettent aux exploitants de tunnels de piloter le système de ventilation en temps réel ou de prendre des mesures d'urgence (par exemple, fermeture à la circulation).

Le présent document a été élaboré comme une norme fondée sur les performances permettant l'utilisation d'un certain nombre d'instruments à lecture directe. Les énoncés exprimés en termes obligatoires dans les notes aux tableaux et aux figures sont réputés être des exigences du présent document.

Afin d'améliorer le débit de circulation dans les grands centres d'affaires et dans les environnements sensibles, les tunnels routiers sont de plus en plus utilisés dans le monde entier pour atteindre les résultats escomptés. Il existe un grand nombre de tunnels en service et plusieurs autres sont à l'étude.

Les projets de tunnels routiers sont soumis à validation sur des critères environnementaux et/ou d'aménagement par les autorités réglementaires qui spécifient les paramètres à surveiller dans le tunnel, lesquels incluent généralement la vitesse de l'air, le CO, le NO, le NO<sub>2</sub> et la visibilité, le NO étant mesuré comme valeur de substitution au NO<sub>2</sub>, en se basant sur le ratio historique de 10 % des oxydes d'azote totaux qui sont du NO<sub>2</sub>. Toutefois, cette hypothèse n'est plus considérée comme appropriée compte tenu de la proportion accrue de véhicules à moteur diesel dans les parcs automobiles. Il peut également être exigé que le système de ventilation du tunnel soit contrôlé de sorte à:

- a) réduire les concentrations en CO et en NO<sub>2</sub> à l'intérieur du tunnel afin de respecter les critères de qualité de l'air à l'intérieur du tunnel pour diverses périodes de calcul de moyennes;
- b) prévenir ou réduire les émissions au niveau des têtes de tunnel et les impacts environnementaux qui en résultent;
- c) assurer une visibilité adéquate pour les différentes conditions d'exploitation du tunnel;
- d) contrôler les fumées et améliorer le temps d'auto-évacuation et la sécurité des usagers du tunnel dans les situations d'urgence telles que les incendies.

La conformité avec les critères de qualité de l'air à l'intérieur du tunnel est généralement déterminée en calculant la moyenne des concentrations en CO et en NO<sub>2</sub> mesurées ou estimées à l'aide d'un certain nombre d'instruments placés le long de chaque tube de l'ouvrage.

Le nombre d'instruments requis pour surveiller correctement la qualité de l'air du tunnel dépend d'un certain nombre de facteurs, incluant:

- a) la longueur du tunnel ainsi que le nombre de changements de déclivité et de bretelles d'entrée et de sortie;
- b) la densité du trafic et les types de véhicules;
- c) le débit et le régime de contrôle du système de ventilation pour gérer les fumées ou l'air vicié;
- d) les exigences réglementaires.

Par conséquent, cet aspect n'est pas abordé dans le présent document. Il convient toutefois de noter que la modélisation numérique de la mécanique des fluides peut être utilisée comme outil de conception pour aider à la mise en place des instruments, en garantissant que les concentrations maximales et moyennes indicatives sont mesurées.

# Mesurage de la qualité de l'air d'un tunnel routier

## 1 Domaine d'application

Le présent document décrit des méthodes permettant de déterminer la vitesse et le sens d'écoulement de l'air, les concentrations en monoxyde de carbone (CO), en oxyde d'azote (NO) et en dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), et la visibilité dans les tunnels routiers à l'aide d'instruments à lecture directe. Il exclut spécifiquement les exigences relatives aux essais de conformité des instruments.

## 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 5802, *Ventilateurs industriels — Essai de performance in situ*

ISO 6145, *Analyse des gaz — Préparation des mélanges de gaz pour étalonnage à l'aide de méthodes dynamiques*

ISO 10780, *Émissions de sources fixes — Mesurage de la vitesse et du débit-volume des courants gazeux dans des conduites*

Guide ISO/IEC 98-3, *Incertitude de mesure — Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*

ISO/IEC 17025, *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*

## 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

— ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>

### 3.1 étalonnage

ensemble des opérations permettant d'établir, dans des conditions spécifiées, les rapports existant entre la valeur indiquée par un instrument de mesure et la valeur connue correspondante d'un étalon de référence

### 3.2 matériau de référence certifié

matériau de référence caractérisé par un mode opératoire métrologiquement valide applicable à une ou plusieurs propriétés spécifiées et accompagné d'un certificat de matériau de référence qui indique la valeur de la propriété spécifiée, son incertitude associée, et une expression de la traçabilité métrologique

**3.3**  
**contrôle**

confirmation de la réponse acceptable d'un instrument, sans réglage

**3.4**  
**temps de descente**

intervalle de temps entre la réponse initiale de l'instrument et 10 % de la réponse initiale de l'instrument, après une diminution progressive de la concentration d'entrée

**3.5**  
**pleine échelle**  
**PE**

concentration maximale désignée pour laquelle un instrument a été étalonné

Note 1 à l'article: La pleine échelle (PE) est sélectionnée de sorte à couvrir la plage normale des valeurs attendues dans l'environnement de prélèvement.

**3.6**  
**équivalent d'interférence**

réponse positive ou négative de l'instrument induite par une substance autre que celle mesurée

**3.7**  
**linéarité**

divergence du relevé d'un instrument par rapport à une ligne d'ajustement linéaire optimal lorsque celui-ci est soumis à des atmosphères d'essai de référence variables

**3.8**  
**limite inférieure de détection**

concentration minimale en polluant qui produit un signal d'exactly trois fois l'écart-type de répétabilité

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 23431:2021

Note 1 à l'article: Voir l'ISO 5725-1 [standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c09e222a-4ddf-4dd9-abe7-b7d2ae6e5182/iso-23431-2021](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c09e222a-4ddf-4dd9-abe7-b7d2ae6e5182/iso-23431-2021)

**3.9**  
**paramètre**

une des caractéristiques liées à un échantillon d'air

EXEMPLE Concentration en polluant ou autres valeurs quantifiables (par exemple, la vitesse de l'air).

**3.10**  
**ppm**

parties par million  
rapport exprimant le volume de polluant gazeux contenu dans 1 000 000 volumes d'atmosphère

Note 1 à l'article: et pouvant être exprimé en millilitres par mètre cube, les valeurs étant identiques. En variante, ce rapport est égal à un million de fois le rapport entre la pression partielle du polluant gazeux et la pression de l'atmosphère dans laquelle il est contenu.

**3.11**  
**fidélité**

variation autour de la moyenne des mesures obtenues par mesurages répétés de la même concentration en polluant avec le même instrument, exprimée sous la forme d'un écart-type autour de la moyenne

**3.12**  
**plage**

concentrations minimale et maximale nominales qu'une méthode est capable de mesurer

Note 1 à l'article: La plage nominale est spécifiée par les limites inférieure et supérieure de la plage en unités de concentration, par exemple 0 ppm à 250 ppm.

**3.13****atmosphère d'essai de référence**

atmosphère d'essai contenant une concentration connue en polluant, généralement créée par la dilution du contenu d'une bouteille contenant un *matériau de référence certifié* (3.2) gazeux

**3.14****temps de montée**

intervalle de temps entre la réponse initiale de l'instrument et 90 % de la réponse finale de l'instrument, après une augmentation progressive de la concentration d'entrée

**3.15****tunnel routier**

toute longueur de route entièrement confinée d'une longueur minimale comprise entre 90 m et 150 m

EXEMPLE National Fire protection Association et UK Design Manual for Roads and Bridges.

**3.16****dérive au point d'échelle**

variation, en pourcentage, de la réponse d'un instrument à une concentration en polluant à l'échelle sur une période d'exploitation en continu non ajustée

**3.17****U<sub>95</sub>**

mesurage de l'incertitude élargie à un intervalle de confiance de 95 % conformément au Guide ISO/IEC 98-3

**3.18****air de zéro**

air exempt de contaminants susceptibles d'induire une réponse détectable sur l'instrument d'essai

**3.19****dérive au zéro**

variation de la réponse d'un instrument à une concentration en polluant zéro sur une période d'exploitation en continu non ajustée

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
(standards.iteh.ai)

ISO 23431:2021

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c09e222a-4ddf-4dd9-abe7->

instrument-532612261-centr

**4 Paramètre d'essai — Vitesse et sens du courant d'air****4.1 Généralités**

L'Article 4 décrit des instruments à lecture directe et en continu permettant de déterminer la vitesse et le sens d'écoulement de l'air dans les tunnels routiers. Sous réserve que les performances des instruments soient conformes aux spécifications indiquées dans le Tableau 1, d'autres méthodes peuvent être utilisées dans le cadre du présent document.

**4.2 Principe**

La vitesse de l'air et le sens d'écoulement dans les tunnels routiers modernes sont généralement mesurés à l'aide de capteurs de débit à ultrasons.

Les systèmes de capteurs à ultrasons reposent sur le principe selon lequel la vitesse du mouvement de l'air modifie le temps de transit d'une impulsion sonore sur une distance fixe, ce qui permet de calculer la vitesse de l'air et de déterminer le sens d'écoulement.

Les relevés des instruments peuvent être utilisés pour contrôler la ventilation mécanique dans un tunnel en situation normale d'exploitation et d'urgence.

Le mesurage de l'écoulement d'air dans les tunnels routiers est important pour les opérations d'urgence (par exemple, un incendie de véhicule), car il permet de contrôler le courant d'air de sorte que les fumées

ne se dispersent pas à l'intérieur du tunnel. Le choix de mesurage de l'écoulement d'air entre une mesure traversante en section transversale ou une mesure ponctuelle dépend des pratiques techniques locales.

Le mesurage du débit d'air peut également être important pour la gestion de la ventilation mécanique, soit pour diluer les polluants, soit pour contrôler les rejets atmosphériques au niveau des têtes.

Les capteurs à ultrasons sont des instruments à trajet ouvert ou ponctuel, installés à différents points tout au long du tunnel, y compris au niveau des têtes et des bretelles de sortie.

Les capteurs de débit à ultrasons à trajet ouvert mesurent la valeur moyenne sur la largeur du tunnel, les paires d'émetteurs-récepteurs étant installées sur les piédroits opposés à un angle compris entre 45° et 60° par rapport à l'axe du tunnel. Afin d'éliminer les erreurs de mesure potentielles causées par des variations de la vitesse des ondes ultrasonores dues à la température et à la pression, les unités émettrices-réceptrices doivent être installées en piédroit de part et d'autre de la section du tunnel, en mesurant le temps de transit dans les deux sens.

Les capteurs de débit à ultrasons ponctuels utilisent le même principe de mesurage que les capteurs à trajet ouvert, c'est-à-dire en mesurant les variations du temps de transit d'une impulsion sonore sur une distance fixe, mais, dans ce cas, la distance évaluée se trouve sur le boîtier de l'instrument.

NOTE Les capteurs de débit à ultrasons à trajet ouvert sont généralement situés en hauteur sur les piédroits du tunnel; par conséquent, la vitesse de l'air mesurée peut ne pas être représentative de la vitesse moyenne de l'ensemble de la section du tunnel. De même, les capteurs de débit à ultrasons ponctuels mesurent la vitesse de l'air à proximité du piédroit (ou du plafond) du tunnel et plus près de la chaussée. Par conséquent, il est possible que la vitesse de l'air mesurée ne soit pas représentative de la vitesse moyenne de la section du tunnel, avec un potentiel accru d'erreurs, dans les conditions normales d'exploitation, due à la turbulence créée par la circulation automobile.

iteh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

### 4.3 Appareillage

#### 4.3.1 Instrument

ISO 23431:2021  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c09e222a-4ddf-4dd9-abe7-b7d2aef6e5182/iso-23431-2021>

Un instrument à lecture directe et en continu qui satisfait ou va au-delà des spécifications indiquées dans le [Tableau 1](#). Les spécifications de performances publiées par le fabricant doivent être considérées comme une preuve acceptable de la conformité aux exigences données si elles sont accompagnées d'une déclaration d'incertitude de mesure émise par une organisation qui satisfait aux exigences de l'ISO/IEC 17025.

**Tableau 1 — Spécifications de performances des instruments pour les systèmes de mesure de la vitesse de l'air dans les tunnels**

Paramètre	Exigences minimales
Plage	de -20 m/s à 20 m/s
Incertitude de mesure élargie	2 % des lectures ou 0,2 m/s <sup>a</sup>
Résolution	≤ 0,1 m/s
<sup>a</sup> La plus grande des deux valeurs étant retenue.	

#### 4.3.2 Dispositif de mesure de référence de la longueur du trajet (instruments à trajet ouvert uniquement)

Un dispositif de mesure de référence de la longueur du trajet, traçable métrologiquement avec une incertitude de 0,5 %, U<sub>95</sub>, est nécessaire pour déterminer avec exactitude la longueur du trajet. Le dispositif de mesure de référence de la longueur du trajet doit être contrôlé sur une longueur de trajet correspondant au moins à la longueur du trajet de mesure de l'instrument.

Les organisations qui réalisent les essais exposés dans le présent article doivent satisfaire aux exigences de l'ISO/IEC 17025.

### 4.3.3 Capteur de débit étalon de transfert

Pour contrôler le fonctionnement des capteurs de vitesse de l'air, il est requis de disposer d'un anémomètre portatif à hélice ou à fil chaud, ou dispositif équivalent, de spécification similaire ou supérieure au capteur de vitesse de l'air traçable métrologiquement avec une incertitude de 2 %  $U_{95}$ . Le capteur de débit étalon de transfert doit être étalonné sur une plage dépassant le débit d'air maximum rencontré dans le tunnel.

Les organisations qui réalisent les essais exposés dans le présent article doivent satisfaire aux exigences de l'ISO/IEC 17025.

## 4.4 Mode opératoire

Le mode opératoire doit être le suivant:

- a) en ce qui concerne les capteurs de débit à ultrasons à trajet ouvert, s'assurer que les émetteurs-récepteurs sont installés de sorte que le trajet de l'impulsion sonore ne soit pas entravé par des équipements du tunnel ou autres obstacles, y compris la circulation automobile, tout en garantissant un accès facile pour la maintenance et l'étalonnage des instruments;
- b) pour les capteurs de débit à ultrasons à trajet ouvert, vérifier l'alignement horizontal et vertical de l'instrument et l'angle du faisceau, conformément aux instructions du fabricant;
- c) en ce qui concerne les capteurs de débit à ultrasons à trajet ouvert, mesurer avec exactitude et enregistrer la distance entre les émetteurs-récepteurs à l'aide d'un dispositif de mesure de référence de la longueur du trajet (4.3.2);
- d) régler l'instrument et effectuer les premiers contrôles conformément aux instructions du fabricant (par exemple, réglage de la longueur du trajet, configuration et mise à l'échelle des sorties analogiques, réglage des valeurs d'alarme et du niveau d'atténuation) et aux exigences en 4.5;
- e) procéder aux mesurages conformément aux instructions du fabricant et s'assurer que les valeurs obtenues se rapportent à la date et à l'heure correctes.

## 4.5 Contrôles et étalonnages des instruments

### 4.5.1 Généralités

L'étalonnage d'un instrument établit la relation quantitative entre la vitesse de l'air et la réponse de l'instrument.

Les contrôles et les étalonnages des instruments doivent être réalisés conformément aux fréquences spécifiées par le fabricant et conformément au [Tableau 2](#).

En outre, des contrôles fonctionnels de la précision doivent être effectués dans les cas suivants:

- a) avant la mise hors service ou le déplacement physique de l'instrument, s'il est opérationnel;
- b) après le déplacement physique de l'instrument;
- c) après toute réparation susceptible d'affecter la réponse de l'instrument;
- d) En cas d'indication d'un dysfonctionnement de l'instrument ou d'une modification de la réponse pouvant entraîner une dérive de l'instrument supérieure aux valeurs indiquées dans le [Tableau 2](#).

NOTE 1 Le dispositif de surveillance du débit et du sens d'écoulement de l'air peut comporter une fonction automatique quotidienne de contrôle du zéro et du point d'échelle à des fins de contrôle et d'assurance qualité quotidiens.

NOTE 2 Les vérifications et étalonnages spécifiés dans la présente section peuvent être omis si l'instrument de mesure de l'écoulement de l'air fournit des fonctions d'autodiagnostic équivalentes éprouvées (par exemple, lecture des sorties analogiques ou numériques).

### 4.5.2 Longueur du trajet de mesure (instruments à trajet ouvert uniquement)

La longueur du trajet de mesure pour les capteurs de débit à ultrasons à trajet ouvert est généralement définie comme la distance entre les faces d'unités émettrices-réceptrices opposées; il convient toutefois que cette définition soit confirmée par le fabricant. La longueur du trajet de mesure doit être déterminée lors de l'installation (voir [Tableau 2](#)) à l'aide d'un dispositif de mesure de référence de la longueur du trajet, comme décrit en [4.3.2](#).

Un contrôle de la longueur du trajet de mesure doit également être réalisé chaque fois qu'un instrument à trajet ouvert est réinstallé après maintenance ou réparation, si la maintenance ou la réparation est susceptible d'entraîner une modification de la longueur du trajet de mesure.

### 4.5.3 Contrôle initial

Procéder à un premier contrôle du capteur de débit à ultrasons avant l'ouverture du tunnel routier en appliquant une méthode d'étalon de transfert colocalisé (CTS, de l'anglais « *collocated transfer standard* ») à au moins trois vitesses d'air (si techniquement possible) réparties uniformément sur la plage opérationnelle de conception du tunnel.

Pour les capteurs de débit à ultrasons à trajet ouvert, les mesurages doivent être effectués en au moins deux points par voie de circulation sur le trajet de mesure. Pour les capteurs de débit à ultrasons ponctuels, il est nécessaire que le CTS se trouve à moins de 1 m du capteur d'intérêt à l'horizontale et de 0,5 m à la verticale, mais à la même distance du piedroit du tunnel.

La méthode CTS requiert un anémomètre portatif étalonné à hélice ou à fil chaud, ou dispositif équivalent, de spécification similaire ou supérieure au capteur de débit à ultrasons, situé à proximité du trajet de mesure du capteur soumis à évaluation.

Pour les capteurs de débit à ultrasons aussi bien ponctuels qu'à trajet ouvert, il est important de positionner le CTS de sorte que ce dernier soit représentatif du débit d'air au niveau du capteur d'intérêt, sans interférer avec la réponse de l'un ou l'autre instrument.

Le mode opératoire doit être le suivant:

- a) s'assurer que le CTS est orienté de sorte que la lecture soit obtenue dans le sens de l'écoulement d'air;
- b) connecter le CTS à un enregistreur de données indépendant. une fois la vitesse de l'air stabilisée, enregistrer les données de contrôle pendant au moins 5 min. Enregistrer simultanément la réponse du capteur *in situ* au cours de la même période;
- c) établir la moyenne des données enregistrées sur la période sélectionnée et, le cas échéant, sur l'ensemble des points de mesure du CTS. calculer la différence entre les lectures moyennes du capteur *in situ* et celles du CTS;
- d) contrôler que la différence est conforme à la tolérance indiquée dans le [Tableau 2](#). Si le résultat n'est pas conforme à la tolérance spécifiée, vérifier le positionnement du CTS et que des particularités du site de mesure ne peuvent pas induire de problèmes spécifiques, procéder aux réparations et/ou étalonnages nécessaires des instruments et répéter le mode opératoire ci-dessus jusqu'à ce que la conformité à la tolérance spécifiée soit confirmée.

### 4.5.4 Étalonnage de section

Une corrélation peut également être exigée entre la sortie du capteur de débit à ultrasons et le débit total de ventilation dans le tube, afin d'obtenir un facteur ou un algorithme à utiliser dans le système de commande de ventilation du tunnel.

Si demandé, l'étalonnage de section doit être effectué après la mise en service de l'instrument et après la vérification initiale (4.5.3).

Le débit total de ventilation dans le tube peut être déterminé en mesurant la vitesse de l'air dans la section transversale du tube, approximativement au droit du capteur de débit à ultrasons, à l'aide d'un anémomètre portatif étalonné à hélice ou à fil chaud, ou équivalent, de spécifications similaires ou supérieures à celles du capteur de débit à ultrasons.

Dans ce cas, le nombre et l'emplacement des points de mesurage dans la section du tunnel dépendent du diamètre hydraulique et de la forme de ladite section. Les méthodes généralement utilisées sont la méthode du gaz traceur, la méthode de surface égale décrite dans l'ISO 10780 et la méthode selon la loi log-Tchebycheff décrite dans la norme ANSI/ASHRAE 41.2 et l'ISO 5802. La vitesse moyenne mesurée est multipliée par la surface de la section afin de calculer le débit total de ventilation dans le tube.

Le mesurage du débit total de ventilation dans le tube n'exclut pas la nécessité de vérifier la réponse réelle de l'instrument conformément au mode opératoire décrit ci-dessus. Il convient également de reconnaître que la corrélation déterminée entre le débit total de ventilation dans le tube et la sortie du capteur de débit à ultrasons dans un tunnel vide peut ne pas refléter ce qui se produit dans un tunnel en exploitation.

#### 4.5.5 Contrôle du zéro

Si un environnement à débit d'air de zéro peut être atteint, la réponse zéro du capteur de débit à ultrasons doit être contrôlée tous les ans conformément aux instructions du fabricant.

Pour les capteurs ponctuels, il est facile d'y parvenir en enfermant le capteur dans un boîtier qui l'isole des courants d'air.

Contrôler que la réponse zéro est conforme à la tolérance indiquée dans le [Tableau 2](#). Si le résultat n'est pas conforme à la tolérance, procéder aux réparations et/ou étalonnages nécessaires de l'instrument et répéter le mode opératoire jusqu'à ce que la réponse zéro soit conforme à la tolérance.

#### 4.5.6 Contrôle des composants du système

Les câbles, les enregistreurs et les dispositifs de conditionnement des signaux et de traitement des données peuvent déformer le signal de sortie des capteurs.

Un contrôle des composants du système doit être réalisé tous les ans afin de s'assurer que le signal de sortie transmis par un capteur correspond à celui reçu par le dispositif d'enregistrement des données. Par exemple, si le capteur de débit à ultrasons émet un signal de sortie de 20 mA avec une vitesse de l'air de 20 m/s, appliquer alors un signal de 20 mA au système pour confirmer que le dispositif d'enregistrement des données indique bien 20 m/s.

Contrôler que la réponse est conforme à la tolérance indiquée dans le [Tableau 2](#). Si la réponse n'est pas conforme à la tolérance, procéder aux réparations et/ou étalonnages nécessaires de l'instrument et répéter le mode opératoire jusqu'à ce que la réponse soit conforme à la tolérance.

#### 4.5.7 Contrôle fonctionnel de la précision

Un contrôle fonctionnel de la précision du capteur de débit à ultrasons doit être réalisé tous les ans en appliquant la méthode CTS à au moins une vitesse d'air et, pour les capteurs de débit à ultrasons à trajet ouvert, à au moins trois points équidistants sur le trajet de mesure. Pour un capteur de débit à ultrasons ponctuel, le CTS doit se trouver à moins de 1 m du capteur d'intérêt à l'horizontale et de 0,5 m à la verticale, mais à la même distance du piédroit du tunnel.

La méthode CTS requiert un anémomètre portatif étalonné à hélice ou à fil chaud, ou dispositif équivalent, de spécification similaire ou supérieure au capteur de débit à ultrasons, situé dans le même plan horizontal que le trajet de mesure du capteur soumis à évaluation.