
**Mesurage du débit des fluides dans
les conduites fermées — Compteurs à
ultrasons pour gaz —**

**Partie 1:
Compteurs pour transactions
commerciales et allocations**

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

*Measurement of fluid flow in closed conduits — Ultrasonic meters
for gas —*

Part 1: Meters for custody transfer and allocation measurement

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4af29604-4a8b-48c2-9d37-8fed9fb38a61/iso-17089-1-2019>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 17089-1:2019

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4af29604-4a8b-48c2-9d37-8fed9fb38a61/iso-17089-1-2019>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2019

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
Fax: +41 22 749 09 47
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	vi
Introduction	vii
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes, définitions et symboles	1
3.1 Termes et définitions.....	1
3.1.1 Grandeurs.....	2
3.1.2 Conception du compteur.....	2
3.1.3 Conditions thermodynamiques.....	3
3.1.4 Statistiques.....	4
3.2 Symboles et indices.....	5
3.3 Abréviations.....	7
4 Principes de mesure	7
4.1 Formules de base.....	7
4.2 Facteurs ayant une incidence sur les performances.....	9
4.3 Description des types génériques.....	10
4.3.1 Généralités.....	10
4.3.2 Transducteurs.....	10
4.3.3 Corps du compteur et configurations de trajet acoustique.....	11
4.3.4 Calcul de la vitesse moyenne.....	13
4.4 Contributions à l'incertitude de mesure.....	14
4.5 Nombre de Reynolds.....	14
4.6 Classification des compteurs à ultrasons.....	15
5 Caractéristiques du compteur	15
5.1 Conditions de fonctionnement.....	15
5.1.1 Débits et vitesses de gaz.....	15
5.1.2 Pression.....	15
5.1.3 Température.....	16
5.1.4 Qualité du gaz.....	16
5.2 Corps, matériaux et construction du compteur.....	16
5.2.1 Matériaux.....	16
5.2.2 Corps du compteur.....	16
5.2.3 Raccordements.....	16
5.2.4 Dimensions.....	17
5.2.5 Orifices des transducteurs à ultrasons.....	17
5.2.6 Prises de pression.....	17
5.2.7 Dispositif antiroulis.....	18
5.2.8 Tranquilliseur.....	18
5.2.9 Marquages.....	19
5.2.10 Protection contre la corrosion.....	20
5.3 Transducteurs.....	20
5.3.1 Spécification.....	20
5.3.2 Vitesse de variation de la pression.....	20
5.3.3 Caractérisation des transducteurs.....	20
5.3.4 Configuration du trajet.....	20
5.3.5 Marquage.....	20
5.3.6 Câble.....	20
5.3.7 Robustesse.....	20
5.4 Électronique.....	20
5.4.1 Exigences générales.....	20
5.4.2 Affichage.....	21
5.4.3 Alimentation électrique.....	21

5.4.4	Méthode de détection du signal.....	21
5.4.5	Échantillonnage ou écoulement pulsatoire.....	21
5.4.6	Rapport signal/bruit.....	21
5.4.7	Signal d'alarme.....	21
5.4.8	Traitement des données.....	21
5.4.9	Sortie.....	21
5.4.10	Gaines et isolation de câble.....	22
5.4.11	Marquage.....	22
5.5	Logiciel.....	22
5.5.1	Micrologiciel.....	22
5.5.2	Spécification des données de communication MODBUS.....	23
5.5.3	Discontinuité.....	23
5.5.4	Marquage et gestion des versions.....	23
5.5.5	Surveillance et enregistrement des données de mesurage et de diagnostic.....	23
5.5.6	Paramètres et fonctions de correction.....	23
5.5.7	Fonctions d'inspection et de vérification.....	24
5.6	Échange de composants.....	24
5.7	Mesurages secondaires.....	25
5.7.1	Généralités.....	25
5.7.2	Mesurage de la pression.....	25
5.7.3	Mesurage de la température.....	25
5.8	Exigences de performance.....	26
5.8.1	Généralités.....	26
5.8.2	Exigences d'exactitude.....	26
5.8.3	Influence de la pression, de la température et de la composition du gaz.....	28
5.9	Exigences relatives à l'installation et au fonctionnement.....	29
5.9.1	Généralités.....	29
5.9.2	Exigences relatives au fonctionnement.....	29
5.9.3	Exigences relatives à l'installation.....	30
5.9.4	Manutention manuelle et transport.....	33
5.10	Documentation.....	34
5.10.1	Généralités.....	34
5.10.2	Documentation générique du compteur.....	34
5.10.3	Documentation spécifique du compteur.....	35
6	Essais et étalonnage.....	35
6.1	Essais de pression et essais d'étanchéité.....	35
6.2	Essais individuels — Essais statiques.....	35
6.2.1	Généralités.....	35
6.2.2	Synchronisation et temporisation.....	35
6.2.3	Essai de vérification de débit nul.....	35
6.3	Essais individuels — Étalonage du débit.....	36
6.3.1	Généralités.....	36
6.3.2	Étalonnage du débit en laboratoire.....	37
6.3.3	Évaluation de la performance de mesurage du compteur.....	39
6.3.4	Ajustements et enregistrements.....	40
7	Essais de type.....	42
7.1	Généralités.....	42
7.2	Exactitude.....	42
7.3	Conditions d'installation.....	43
7.4	Simulation d'une défaillance sur le trajet acoustique et échange de composants.....	44
7.5	Essais de conception de l'électronique.....	44
8	Historique d'expertise et diagnostic pour la vérification des compteurs.....	44
8.1	Généralités.....	44
8.2	Processus de cycle de vie d'un compteur à ultrasons.....	45
8.3	Production et essai de réception en usine.....	47
8.4	Étalonnage initial du débit.....	47
8.5	Installation sur site et essai de réception sur site.....	48

8.6	Fonctionnement.....	48
8.7	Niveaux de diagnostic d'avertissement et d'alarme en fonctionnement.....	49
8.7.1	Niveaux d'avertissement et d'alarme relatifs à la MSOS et au rapport de MSOS.....	49
8.7.2	Niveaux d'avertissement et d'alarme relatifs au rapport de vitesses.....	50
8.7.3	Niveaux d'avertissement et d'alarme relatifs au rapport signal/bruit.....	50
8.8	Entretien et réétalonnage.....	51
8.8.1	Généralités.....	51
8.8.2	Diagnostic relatif à l'entretien.....	51
8.9	Paramètres de diagnostic.....	52
8.9.1	Vitesse du son.....	52
8.9.2	Contrôle automatique du gain.....	54
8.9.3	Rapport signal/bruit (S/N).....	54
8.9.4	Taux d'acceptation des impulsions acoustiques.....	55
8.9.5	Profil des vitesses.....	55
8.9.6	Écart-type/turbulence.....	55
9	Pratique de fonctionnement.....	56
9.1	Correction de température et de pression.....	56
9.1.1	Correction relative à la température.....	56
9.1.2	Correction relative à la pression.....	58
	Annexe A (informative) Enregistrement des bandes d'erreur.....	64
	Annexe B (informative) Calcul et correction des erreurs du compteur à ultrasons.....	65
	Annexe C (informative) Caractérisation et bruit des vannes dans un poste de comptage et de régulation.....	70
	Annexe D (informative) Durée d'étalonnage des compteurs à ultrasons.....	81
	Annexe E (informative) Calcul détaillé des corrections de température et de pression liées à la géométrie.....	86
	Annexe F (normative) Spécification des données de communication MODBUS.....	108
	Annexe G (informative) Essais de perturbation.....	115
	Bibliographie.....	117

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).

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).

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.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 30, *Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées*, sous-comité SC 5, *Méthodes de vitesse et massiques*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 17089-1:2010) qui a fait l'objet d'une révision technique. Les principales modifications par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- L'[Article 3](#) a été révisé;
- Les formules ont été corrigées dans tout le document;
- Des changements terminologiques et d'ordre éditorial ont été apportés au document.

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.

Introduction

Les compteurs à ultrasons pour le mesurage du débit de gaz ont rapidement pénétré le marché des débitmètres au cours de la dernière décennie et constituent aujourd'hui l'un des principaux concepts de débitmètres employés à des fins d'exploitation ainsi que pour les transactions commerciales et les allocations. Outre une répétabilité et une exactitude élevées, la technologie des ultrasons présente des caractéristiques intrinsèques telles qu'une perte de charge négligeable, une marge de réglage théorique étendue et la capacité de gérer des écoulements pulsatoires.

Les compteurs à ultrasons peuvent fournir de nombreuses informations de diagnostic permettant de démontrer la fonctionnalité d'un compteur à ultrasons pour gaz. De plus, la vitesse du son mesurée par le compteur à ultrasons peut être comparée à la vitesse du son calculée à partir de la pression, de la température et de la composition du gaz, afin de vérifier la concordance des quatre instruments concernés. En raison des capacités de diagnostic étendues, le présent document préconise l'ajout et l'utilisation d'un diagnostic automatique en lieu et place des contrôles qualité à forte intensité de main d'œuvre.

Le présent document traite des compteurs pour le mesurage des transactions commerciales et des allocations (classe 1 et classe 2). Les compteurs pour les applications de gaz industrielles, telles que pour les services et les procédés, aussi bien que pour les gaz brûlés ou le mesurage dans les conduits feront l'objet de l'ISO 17089-2.

Les facteurs de performance types de schéma de classification sont présentés ci dessous:

Classe	Applications types	Classe d'exactitude requise	Référence
1	Transactions commerciales	Classe 0.5 ou classe 1.0	Le présent document
2	Allocations	Classe 1.5	Le présent document
3	Services/Procédés		ISO 17089-2
4	Gaz brûlés/Gaz dans les conduites		ISO 17089-2

Les configurations types des compteurs de classe 1 et de classe 2 sont des compteurs multicordes avec des cordes en différentes positions radiales.

Les configurations types des compteurs de classes 3 et 4 sont des compteurs monocorde, des compteurs avec des cordes en position diamétrale uniquement, des compteurs de type insertion, de type ménage, de type cheminée ou à pile et de type fusée.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 17089-1:2019

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4af29604-4a8b-48c2-9d37-8fed9fb38a61/iso-17089-1-2019>

Mesurage du débit des fluides dans les conduites fermées — Compteurs à ultrasons pour gaz —

Partie 1: Compteurs pour transactions commerciales et allocations

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les exigences et les recommandations relatives aux compteurs à ultrasons pour gaz qui utilisent le temps de transit de signaux acoustiques pour mesurer le débit de gaz homogènes à phase unique dans des conduites fermées.

Le présent document s'applique aux compteurs à ultrasons à temps de transit pour gaz utilisés pour le mesurage des transactions commerciales et des allocations, tels que les compteurs à passage intégral, les compteurs à surface réduite, les compteurs haute pression, les compteurs basse pression et toute combinaison de ceux-ci. Il n'y a pas de limites aux dimensions minimales ou maximales du compteur. Le présent document peut s'appliquer au mesurage de pratiquement tous les types de gaz, tels que l'air, le gaz naturel et l'éthane.

Des exigences de performance de mesurage du débit sont incluses pour les compteurs appartenant à deux classes d'exactitude appropriées pour des applications telles que le mesurage à des fins de transactions commerciales et d'allocations.

Le présent document spécifie la construction, les performances, l'étalonnage, le diagnostic pour la vérification des compteurs et les caractéristiques du signal de sortie des compteurs à ultrasons employés pour le mesurage du débit de gaz et traite des conditions d'installation.

NOTE Il est possible que des réglementations nationales ou d'autres réglementations qui s'appliquent soient plus sévères que celles données dans le présent document.

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 4006, *Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées — Vocabulaire et symboles*

ISO 5168, *Mesure de débit des fluides — Procédures pour le calcul de l'incertitude*

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

3 Termes, définitions et symboles

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'ISO 4006 ainsi que les suivants, s'appliquent.

ISO 17089-1:2019(F)

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/>

3.1.1 Grandeurs

3.1.1.1

débit volumique

$$q_V = \frac{dV}{dt}$$

où

V est le volume;

t est le temps.

3.1.1.2

pression

p
pression absolue de gaz dans un compteur dans les conditions d'écoulement associées au volume de gaz indiqué

3.1.1.3

vitesse moyenne

v
débit volumique divisé par l'aire de la section droite

ITeH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 17089-1:2019

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4af29604-4a8b-48c2-9d37-81cd91b58a61/iso-17089-1-2019>

3.1.2 Conception du compteur

3.1.2.1

corps du compteur

structure sous pression du compteur

3.1.2.2

trajet acoustique

parcours d'une onde sonore entre deux transducteurs à ultrasons

3.1.2.3

trajet axial

parcours d'une onde sonore entièrement dans la direction de l'axe principal de la tuyauterie

Note 1 à l'article: Un trajet axial peut coïncider ou être parallèle à l'axe longitudinal de la tuyauterie, voir [Figure 1](#).



Figure 1 — Trajet axial

3.1.2.4 trajet diamétral

trajet acoustique dans lequel l'onde sonore passe par l'axe longitudinal de la tuyauterie

Note 1 à l'article: Voir un exemple de représentation à la [Figure 2](#).



ISO 17089-1:2019
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4af29604-4a8b-48c2-9d37->
 Figure 2 — Trajets diamétraux

3.1.2.5 trajet à la corde

trajet acoustique dans lequel l'onde sonore se déplace parallèlement au trajet diamétral

Note 1 à l'article: Voir un exemple de représentation à la [Figure 3](#).

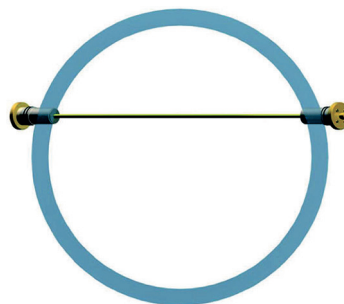


Figure 3 — Trajets à la corde

3.1.3 Conditions thermodynamiques

3.1.3.1 conditions de mesure

conditions observées au point de mesure du fluide dont le volume est à mesurer

Note 1 à l'article: Les conditions de mesure incluent la composition du gaz, la température et la pression.

[SOURCE: ISO 9951:1993, 3.1.6, modifiée — le terme fluide est utilisé à la place de gaz.]

3.1.3.2 conditions de base

conditions auxquelles est converti le volume de gaz mesuré

Note 1 à l'article: Les conditions de base incluent la température et la pression de base.

[SOURCE: ISO 9951:1993, 3.1.7, modifiée — le terme fluide est utilisé à la place de gaz.]

3.1.4 Statistiques

3.1.4.1 erreur de mesure

différence entre la valeur mesurée d'une grandeur et une valeur de référence

[SOURCE: Guide ISO/IEC 99:2007, 2.16]

EXEMPLE Valeur d'une grandeur mesurée par le compteur soumis à essai moins la valeur de la grandeur mesurée par un compteur de référence.

3.1.4.2 courbe d'erreur

interconnexion de la courbe (par exemple polynomiale) ajustée sur l'ensemble des erreurs en fonction du débit du compteur de référence

3.1.4.3 erreur maximale tolérée

valeur extrême de l'erreur de mesure, par rapport à une valeur de référence connue, qui est tolérée par les spécifications ou les réglementations pour une plage de fonctionnement donnée du compteur

[SOURCE: Guide ISO/IEC 99:2007 4.26, modifié — Le terme mesure a été retiré de la définition, donc on peut désigner le terme usuel par son abréviation EMT.]

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

3.1.4.4 erreur maximale de crête à crête

différence maximale entre deux valeurs d'erreur

3.1.4.5 répétabilité

faible dispersion des résultats de mesurages successifs du même mesurande, mesurages effectués dans les mêmes conditions de mesure

Note 1 à l'article: La répétabilité doit être calculée en termes absolus pour l'erreur d'un compteur, comme l'incertitude de type A d'une seule mesure (U_{AS}) conformément à l'ISO 5168. Le facteur d'élargissement k_{95} doit être calculé à partir de la distribution de Student pour un niveau de confiance de 95,45 % selon le nombre de mesures relevées. Voir l'ISO 5168, Tableau C.1.

$$r_p = U_{AS} = k_{95} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{(n-1)}}$$

Les valeurs types du facteur d'élargissement k_{95} sont:

Mesures relevées	3	5	7	10	100	∞
Facteur d'élargissement k_{95}	4,53	2,87	2,52	2,32	2,02	2,00

3.1.4.6 reproductibilité

faible dispersion des résultats des mesurages du même mesurande, mesurages effectués en faisant varier les conditions de mesure

3.1.4.7 résolution

variation la plus faible entre indications d'un compteur pouvant être significativement perceptible

[SOURCE: ISO 11631:1998, 3.28, modifiée — Le terme compteur a été remplacé par débitmètre.]

3.1.4.8 mesure de débit nul

mesure lorsque le gaz est au repos (vitesse nulle)

3.1.4.9 linéarisation

manière de réduire la non-linéarité du compteur à ultrasons, généralement en appliquant des corrections au logiciel

Note 1 à l'article: La linéarisation peut être appliquée à l'électronique du compteur ou à un calculateur de débit connecté au compteur à ultrasons. La correction peut être, par exemple, une linéarisation par échelon ou une linéarisation polynomiale.

3.2 Symboles et indices

Les symboles et indices utilisés dans le présent document sont indiqués dans les [Tableaux 1](#) et [2](#). Des exemples d'utilisation du symbole de débit volumique sont donnés dans le [Tableau 3](#).

Tableau 1 — Symboles

Grandeur	Symbole	Dimensions ^a	Unité SI
Aire de la section droite	A	L^2	m^2
Vitesse du son dans un fluide	c	LT^{-1}	m/s
Diamètre extérieur de la tuyauterie	D	L	m
Diamètre intérieur du corps du compteur	d	L	m
Module d'élasticité; module de Young du corps du compteur	E	$ML^{-1}T^{-2}$	MPa
Module d'élasticité; module de Young du transducteur	E_t	$ML^{-1}T^{-2}$	MPa
Erreur de débit indiquée	E_i	—	1
Facteur de pondération (entrées directes)	f_i	—	1
Nombres entiers (1, 2, 3, ...)	i, j, n	—	1
Coefficient d'impulsion	I	L^{-3}	m^{-3}
Coefficient d'étalonnage	K	—	1
Coefficient de style de corps	K_s	—	1
Coefficient de correction d'extrémité de raccordement	K_E	—	1
Coefficient de correction de répartition des vitesses	k_h	—	1
Coefficient de rigidité de la bride	K_f	—	1
Distance minimale par rapport à une perturbation spécifiée de l'écoulement en amont	l_{min}	L	m
Longueur de moyennage type dans le compteur à ultrasons	L_{AV}	L	m
Amplitude du bruit	L_p	—	dB
Longueur du trajet	l_p	L	m
Coefficient d'atténuation	N_d	—	1
Facteur de pondération de vanne	N_v	—	1
Pression absolue	p	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa

^a M ≡ masse; L ≡ longueur; T ≡ temps; θ ≡ température.

Tableau 1 (suite)

Grandeur	Symbole	Dimensions ^a	Unité SI
Différence de pression	Δp	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
Pression acoustique d'émission	p_n	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
Intensité du signal du compteur à ultrasons	P_s	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
Débit volumique	q_V	L^3T^{-1}	m ³ /s
Rayon extérieur de la tuyauterie	R	L	m
Rayon intérieur de la tuyauterie	r	L	m
Nombre de Reynolds	Re	—	1
Répétabilité	r_p	—	1
Répétabilité pendant l'étalonnage	r_{cal}	—	1
Écart-type expérimental	s	—	1
Température absolue du gaz	T	Θ	K
Différence de température	ΔT	Θ	K
Temps	t	T	s
Écart-type de la dispersion turbulente instantanée	u^*	—	1
Écart-type de la dispersion turbulente requise après moyennage	u_d	—	1
Vitesse	v	LT^{-1}	m/s
Vitesse moyenne	\bar{v}	LT^{-1}	m/s
Vitesse du trajet acoustique i	v_i	LT^{-1}	m/s
Volume	V	L^3	M ³
Facteur de pondération (valeur fixe)	w_l	—	1
Compressibilité	Z	—	1
Coefficient de dilatation thermique	α	Θ^{-1}	K ⁻¹
Erreur au débit $q_{V,i}$	Δ_i	—	%
Épaisseur de paroi de la tuyauterie	δ	L	m
Viscosité dynamique	η	$L^{-1}MT^{-1}$	Pa·s
Longueur d'onde de l'oscillation ultrasonore	λ	L	m
Coefficient de Poisson	μ	—	1
Masse volumique du fluide	ρ	ML^{-3}	kg/m ³
Point de détection pour la mesure de pression	p_m	—	—
Angle du trajet	ϕ	—	rad

^a M ≡ masse; L ≡ longueur; T ≡ temps; Θ ≡ température.

Tableau 2 — Indices

Indice	Signification
cal	étalonnage
min	minimal
max	maximal
op	opérationnel
t	transition

Tableau 3 — Exemples de symboles de débits

Symbole	Signification
$q_{V,max,20}$	Débit maximal de conception, prévu pour une vitesse maximale du gaz de 20 m/s

Tableau 3 (suite)

Symbole	Signification
$q_{V, \max, x}$	Débit maximal de conception, prévu pour une vitesse maximale du gaz de x m/s
$q_{V, \max, op}$	Débit maximal de fonctionnement, défini uniquement lorsqu'il est inférieur au débit maximal de conception
$q_{V, \max, cal}$	Débit maximal étalonné, défini uniquement lorsqu'il est inférieur au débit maximal de fonctionnement
$q_{V, \min}$	Débit minimal de conception
$q_{V, t}$	Débit de transition permettant de définir des exigences d'exactitude

3.3 Abréviations

CMC	capacité d'étalonnage et de mesure
ES	système électronique
FAT	essai de réception en usine
FC	tranquilliseur
FWME	erreur moyenne pondérée du débit
M&R	postes de comptage et de régulation
MPE	erreur maximale tolérée
MSOS	vitesse du son mesurée
SAT	essai de réception sur site
S/N	rapport signal/bruit
SOS	vitesse du son
TSOS	vitesse théorique du son
USM	compteur (débitmètre) à ultrasons
USMP	compteur à ultrasons complet, y compris tubes de mesure, tranquilliseur et puits thermométrique
USM(P)	USM et USMP

4 Principes de mesure

4.1 Formules de base

Les compteurs à ultrasons sont fondés sur le mesurage du temps de propagation des ondes sonores dans un milieu en écoulement.

La configuration de base du système est représentée à la [Figure 4](#). De part et d'autre de la tuyauterie, des transducteurs capables d'émettre et de recevoir des impulsions ultrasonores sont montés aux emplacements A et B. Ces transducteurs émettent des impulsions sonores dans un intervalle tellement bref que la vitesse du son est identique pour les deux mesurages et les temps de transit sont mesurés. Avec un débit nul, le temps de transit de A à B, t_{AB} , est égal au temps de transit de B à A, t_{BA} . Toutefois, en présence d'un écoulement, le temps de transit de l'impulsion sonore de A à B diminuera et celui de B à A