
**Mesurage de débit de gaz au moyen de
tuyères en régime critique**

Measurement of gas flow by means of critical flow nozzles

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 9300:2022

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7be52e5c-c007-4fe1-98e8-9e79acd787de/iso-9300-2022>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 9300:2022

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7be52e5c-c007-4fe1-98c8-9e79acd787de/iso-9300-2022>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2022

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
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos.....	v
1 Domaine d'application.....	1
2 Références normatives.....	1
3 Termes et définitions	1
3.1 Pression.....	1
3.2 Température	2
3.3 Tuyère.....	2
3.4 Écoulement	3
3.5 Débit	4
3.6 Gaz.....	6
4 Symboles et abréviations.....	6
5 Équations de base.....	9
5.1 Comportement du gaz.....	9
5.1.1 Procédé isentropique.....	9
5.1.2 Équation d'état.....	9
5.2 Écoulement isentropique d'un gaz parfait	10
5.2.1 Section d'écoulement	10
5.2.2 Pression statique.....	10
5.2.3 Température statique.....	10
5.3 Variables théoriques au point critique.....	10
5.3.1 Généralités	10
5.3.2 Pression critique.....	10
5.3.3 Température critique	10
5.3.4 Masse volumique critique	11
5.3.5 Vitesse critique.....	11
5.4 Débits-masses théoriques	11
5.4.1 Généralités	11
5.4.2 Débit-masse théorique d'un gaz parfait	11
5.4.3 Débit-masse théorique d'un gaz réel.....	11
5.5 Débit-masse	11
6 Exigences générales.....	12
7 Applications pour lesquelles la méthode est adaptée.....	12
8 CFN	13
8.1 Exigences générales relatives aux types CFN normalisées.....	13
8.1.1 Généralités	13
8.1.2 Matériaux.....	13
8.1.3 Convergent et col	14
8.1.4 Divergent	14
8.2 Exigences relatives à chaque type de CFN normalisées.....	15
8.2.1 CFN normalisées.....	15
8.2.2 CFN à col toroïdal.....	15
8.2.3 CFN à col cylindrique.....	16
9 Exigences relatives à l'installation	18
9.1 Exigences générales relatives aux configurations normalisées	18
9.1.1 Configurations normalisées.....	18
9.1.2 Prise de pression en amont.....	18
9.1.3 Prise de pression en aval	19

9.1.4	Mesurage de la température	19
9.1.5	Mesurage de la masse volumique.....	20
9.1.6	Orifice de purge	20
9.1.7	Conditions en aval.....	20
9.2	Configuration en tube	21
9.2.1	Généralités.....	21
9.2.2	Tube en amont.....	21
9.2.3	Mesurage de la pression	22
9.2.4	Mesurage de la température	22
9.3	Configuration en enceinte.....	23
9.3.1	Généralités.....	23
9.3.2	Enceinte en amont	23
9.3.3	Mesurage de la pression	23
9.3.4	Mesurage de la température	23
9.3.5	Rapport de contre-pression	23
10	Calculs	23
10.1	Généralités.....	23
10.2	Calcul du débit-masse, q_m	24
10.3	Calcul du coefficient de décharge, C_d	24
10.4	Calcul de la fonction critique, C^* ou C^*_D	25
10.5	Conversion de la pression mesurée en pression d'arrêt	25
10.6	Conversion de la température mesurée en température d'arrêt.....	25
10.7	Calcul de la viscosité	26
11	Estimation du rapport de contre-pression critique	26
11.1	Pour un divergent traditionnel avec un nombre de Reynolds supérieur à 2×10^5	26
11.2	Pour tout divergent avec un faible nombre de Reynolds	27
11.3	Pour les CFN sans divergent ou avec un divergent très court.....	28
12	Incertitudes de mesure du débit	28
12.1	Généralités.....	28
12.2	Calcul pratique de l'incertitude	29
12.3	Composantes d'incertitude corrélées.....	30
Annexe A (informative) Valeurs du coefficient de décharge		32
Annexe B (informative) Fonction critique		34
Annexe C (informative) Valeurs de la fonction critique — Gaz purs et air		37
Annexe D (informative) Calcul du flux de masse critique pour des tuyères en régime critique dont le rapport du diamètre au col au diamètre en amont est élevé, $\beta > 0,25$		59
Annexe E (informative) Méthode de correction du diamètre		63
Annexe F (informative) Ajustement de la courbe du coefficient de décharge sur un ensemble de données		68
Annexe G (informative) Coefficient de décharge		76
Annexe H (informative) Rapport de contre-pression critique		82
Annexe I (informative) Valeurs de viscosité — Gaz purs et air		91
Annexe J (informative) Complément.....		107
Bibliographie		116

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 appelée 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 le lien suivant: www.iso.org/iso/fr/avant-propos.

L'ISO 9300 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 30, *Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées*, sous-comité SC 2, *Appareils déprimogènes*, en collaboration avec le comité technique CEN/SS F05, *Instruments de mesure*, du comité européen de normalisation (CEN), conformément à l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition (ISO 9300:2005), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications sont les suivantes:

- la courbe du coefficient de décharge est fournie par une seule équation pour chaque tuyère en régime critique (CFN) à col cylindrique et à col toroïdal qui couvre à la fois les régimes des couches limites laminaires et turbulentes;
- la courbe du coefficient de décharge de la CFN à col cylindrique est mise à jour à partir des données théoriques et expérimentales récentes;
- les notions de CFN à quadrant et de divergent démontable sont introduites;
- une liste des équations de base utilisées pour mesurer le coefficient de décharge est établie;

ISO 9300:2022(F)

- le phénomène de désamorçage prématuré est expliqué pour attirer l'attention sur le désamorçage imprévisible à de faibles nombres de Reynolds;
- le REFPROP est introduit pour les calculs de fonction de débit critique et de viscosité, tandis que leurs courbes ajustées sont fournies pour certains gaz purs et l'air;
- la méthode de correction du diamètre est présentée afin d'adapter les données expérimentales relatives au coefficient de décharge à une courbe de référence;
- la méthode détaillée visant à faire correspondre la courbe du coefficient de décharge à un ensemble de données expérimentales est décrite;
- le contexte des spécifications est présenté.

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.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 9300:2022

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7be52e5c-c007-4fe1-98c8-9e79acd787de/iso-9300-2022>

Mesurage de débit de gaz au moyen de tuyères en régime critique

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie la géométrie et le mode d'emploi (installation dans un circuit et conditions opératoires) de tuyères en régime critique (CFN) utilisées pour déterminer le débit-masse de gaz traversant le circuit sans besoins d'étalonner la CFN. Il donne également les informations nécessaires au calcul du débit et de l'incertitude associée.

Le présent document s'applique aux tuyères au sein desquelles l'écoulement gazeux est accéléré jusqu'à atteindre la vitesse critique à la section d'écoulement minimum et uniquement lorsqu'il existe un écoulement stationnaire monophasique de gaz. Lorsque la vitesse critique est atteinte dans la tuyère, le débit-masse du gaz traversant la tuyère est le plus grand débit-masse possible pour les conditions existant à l'entrée, tandis que les CFN peuvent être utilisées uniquement à l'intérieur des limites spécifiées, par exemple pour le rapport du diamètre au col au diamètre à l'entrée de la CFN et pour le nombre de Reynolds. Le présent document traite des CFN à col toroïdal et cylindrique pour lesquelles des étalonnages directs ont été effectués en nombre suffisant, pour permettre de déterminer les coefficients avec une marge prévisible d'incertitude.

2 Références normatives [ISO 9300:2022](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7be52e5c-c007-4fe1-98c8-9e79acd787de/iso-9300-2022)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7be52e5c-c007-4fe1-98c8-9e79acd787de/iso-9300-2022>
Le présent document ne contient aucune référence normative.

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 <https://www.electropedia.org/>.

3.1 Pression

3.1.1

pression statique

pression du gaz en écoulement (voir l'Annexe J)

Note 1 à l'article: La pression statique est mesurée par une *prise de pression à la paroi* (3.1.3).

3.1.2

pression d'arrêt d'un gaz

pression qui règnerait dans le gaz si l'écoulement gazeux était amené au repos par un procédé isentropique

3.1.3

prise de pression à la paroi

orifice percé dans la paroi d'une conduite afin de mesurer la *pression statique* (3.1.1) du gaz en écoulement dans la conduite

3.2 Température

3.2.1

température statique d'un gaz

température du gaz en écoulement (voir l'Annexe J)

Note 1 à l'article: La température statique ne peut pas être mesurée exactement à l'aide d'un capteur de température fixé dans la conduite.

3.2.2

température d'arrêt d'un gaz

température qui règnerait dans le gaz si l'écoulement gazeux était amené au repos par un procédé isentropique (voir l'Annexe J).

3.2.3

température de récupération (température de paroi, température mesurée)

température du gaz touchant la paroi (voir l'Annexe J)

Note 1 à l'article: Le capteur de température fixé sur une conduite mesure la température de récupération.

3.3 Tuyère

3.3.1

convergent

portion de la *tuyère* (3.3.5) située en amont du *col* (3.3.2) destinée à accélérer le débit et à atteindre la plage d'écoulement définie au *point critique* (3.4.4)

3.3.2

col

portion de la *tuyère* (3.3.5) dans laquelle la section circulaire est minimale

Note 1 à l'article: Le présent document traite des tuyères dotées de cols toroïdaux et cylindriques.

3.3.3

divergent

portion divergente de la *tuyère* (3.3.5) derrière le *col* (3.3.2) destinée à récupérer la pression

3.3.4

divergent traditionnel

tronc de cône de *divergent* (3.3.3) usiné en une seule pièce

3.3.5

tuyère

dispositif inséré dans un système destiné à mesurer le débit s'écoulant dans le système, constitué d'un *convergent* (3.3.1) et d'un *col* (3.3.2), ou d'un *convergent* (3.3.1), d'un *col* (3.3.2) et d'un *divergent* (3.3.3)

3.3.6**tuyère en régime critique (*critical flow nozzle*)****CFN**

tuyère (3.3.5) capable d'atteindre l'*écoulement critique* (3.4.2)

3.3.7**tuyère à exactitude normale (*normal precision nozzle*)****NPN**

tuyère (3.3.5) usinée au moyen d'un tour et dont la surface est polie pour obtenir la rugosité désirée

3.3.8**tuyère de haute exactitude (*high precision nozzle*)****HPN**

tuyère (3.3.5) usinée au moyen d'un tour pouvant être dotée d'une finition brillante sans en polir la surface, sa forme correspond donc exactement à la conception

3.4 Écoulement**3.4.1****écoulement isentropique**

écoulement théorique selon lequel le procédé thermodynamique est adiabatique et réversible (voir l'Annexe J)

3.4.2**écoulement critique**

écoulement dans une *tuyère* (3.3.5) qui a atteint le débit maximum de la *tuyère* (3.3.5) pour un ensemble donné de conditions d'entrée (voir l'Annexe J)

3.4.3**régime sonique**

atteinte de l'*écoulement critique* (3.4.2) dans une *tuyère* (3.3.5) (voir l'Annexe J)

3.4.4**point critique**

emplacement dans la *CFN* (3.3.6) où le débit atteint la *vitesse critique* (3.4.11)

3.4.5**pression critique**

p^*

pression statique (3.1.1) au *point critique* (3.4.4) (voir l'Annexe J)

3.4.6**pression critique d'un gaz parfait**

p_p^*

pression statique (3.1.1) théorique au *point critique* (3.4.4) en supposant un *écoulement isentropique* (3.4.1) d'un *gaz parfait* (3.6.1)

3.4.7**température critique**

T^*

température statique (3.2.1) au *point critique* (3.4.4)

3.4.8

température critique d'un gaz parfait

T_p^*

température statique (3.2.1) théorique au *point critique* (3.4.4) en supposant un *écoulement isentropique* (3.4.1) d'un *gaz parfait* (3.6.1)

3.4.9

masse volumique critique

ρ^*

masse volumique au *point critique* (3.4.4)

3.4.10

masse volumique critique d'un gaz parfait

ρ_p^*

masse volumique théorique au *point critique* (3.4.4) en supposant un *écoulement isentropique* (3.4.1) d'un *gaz parfait* (3.6.1)

3.4.11

vitesse critique

c^*

vitesse d'écoulement au *point critique* (3.4.4) (voir l'Annexe J)

3.4.12

vitesse critique d'un gaz parfait

c_p^*

vitesse d'écoulement théorique au *point critique* (3.4.4) en supposant un *écoulement isentropique* (3.4.1) d'un *gaz parfait* (3.6.1)

3.5 Débit

3.5.1

débit-masse

q_m

masse du gaz passant par la *CFN* (3.3.6) par unité de temps

Note 1 à l'article: Dans le présent document, le terme «débit-masse» sans adjectif se réfère toujours au débit-masse réel dans la *CFN*.

3.5.2

débit-masse théorique d'un gaz parfait

$q_{th,P}$

masse théorique de la *CFN* (3.3.6) en supposant un *écoulement isentropique* (3.4.1) monodimensionnel d'un *gaz parfait* (3.6.1)

3.5.3

débit-masse théorique d'un gaz réel

$q_{th,R}$

masse théorique de la *CFN* (3.3.6) en supposant un *écoulement isentropique* (3.4.1) monodimensionnel d'un *gaz réel* (3.6.1)

3.5.4

débit-volume

q_v

volume de gaz s'écoulant par la conduite dans laquelle la *CFN* (3.3.6) est installée, par unité de temps à un emplacement donné (voir l'Annexe J)

Note 1 à l'article: Le débit-volume à l'emplacement désigné, où la masse volumique est ρ , est donné par:

$$q_V = \frac{q_m}{\rho}$$

3.5.5

nombre de Reynolds

$$Re = \frac{4q_m}{\pi d \mu_0}$$

paramètre sans dimension calculé à partir du diamètre du col, du *débit-masse* (3.5.1) et de la viscosité dynamique du gaz dans les conditions d'arrêt à l'entrée de la CFN (3.3.6) (voir l'Annexe J)

3.5.6

coefficient de décharge

$$C_d = \frac{q_m}{q_{th,R}}$$

rapport du *débit-masse* (3.5.1) au débit-masse théorique d'un *gaz réel* (3.6.1) dans les mêmes conditions d'arrêt à l'entrée

3.5.7

rapport de pression critique

rapport de la *pression critique* (3.4.5) d'un *gaz parfait* (3.6.1) à la *pression d'arrêt* (3.1.2) à l'entrée

3.5.8

rapport de contre-pression

rapport de la *pression statique* (3.1.1) à la sortie du divergent à la *pression d'arrêt* (3.1.2) à l'entrée

3.5.9

nombre de Mach local

M_a

rapport de la vitesse d'écoulement à la vitesse du son locale

3.5.10

nombre de Mach dans la conduite en amont

M_{ac}

rapport de la vitesse d'écoulement axiale moyenne sur la section circulaire de la conduite en amont à la vitesse du son au même emplacement

Note à l'article: Il n'est pas nécessaire que la valeur M_{ac} soit exacte et elle peut être estimée par la formule suivante:

$$M_{ac} = \frac{q_m}{\frac{\pi D^2}{4} \rho_0} \frac{1}{\sqrt{\gamma \frac{R}{M} T_0}}$$

3.5.11

incertitude

paramètre, associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient raisonnablement être attribuées au mesurande

3.6 Gaz

3.6.1

gaz parfait

gaz théorique dont l'exposant isentropique (3.6.6) est égal à la chaleur spécifique, qui est constante dans toutes les conditions gazeuses et dont le facteur de compressibilité (3.6.3) est toujours égal à l'unité

3.6.2

gaz réel

gaz réel dont l'exposant isentropique (3.6.6) et le facteur de compressibilité (3.6.3) dépendent de sa pression et de sa température

3.6.3

facteur de compressibilité

Z

facteur de correction de l'écart de la constante du gaz réel par rapport à la constante universelle (voir l'Annexe J)

3.6.4

fonction critique

C^*

fonction sans dimension qui met en relation les propriétés thermodynamiques du gaz au col de la CFN (3.3.6) et les conditions d'arrêt à l'entrée en supposant un écoulement isentropique (3.4.1) monodimensionnel

3.6.5

fonction critique pour l'équation de débit utilisant la masse volumique

$$C_{D}^* = C^* \sqrt{Z_0}$$

fonction critique (3.6.4) alternative à utiliser dans l'équation du débit-masse (3.5.1) qui utilise la masse volumique

3.6.6

exposant isentropique

κ

rapport de la variation relative de la pression à la variation relative de la masse volumique correspondante lors d'un procédé isentropique

4 Symboles et abréviations

Symbole	Description	Dimension	Unité SI
a, b, c, d, e, f, n	Coefficients de la Formule (17)	Sans dimension	—
A	Section d'écoulement	L^2	m^2
A^*	Surface d'écoulement au point critique	L^2	m^2
A_2	Aire de la section circulaire de sortie de la tuyère	L^2	m^2
A_{nt}	Aire de la section circulaire au point critique à la température de fonctionnement de la CFN	L^2	m^2
c	Vitesse du son locale	LT^{-1}	$m \cdot s^{-1}$
c^*	Vitesse du son locale au point critique	LT^{-1}	$m \cdot s^{-1}$
c_p^*	Vitesse du son locale au point critique d'un gaz parfait	LT^{-1}	$m \cdot s^{-1}$
C_{c^*}	Paramètre de l'équation de C^*	Sans dimension	—
C_{μ}	Paramètre de l'équation de μ	Sans dimension	—

Symbole	Description	Dimension	Unité SI
C_d	Coefficient de décharge	Sans dimension	—
C_d^{cible}	Coefficient de décharge cible obtenu en appliquant la méthode DCM	Sans dimension	—
C_d^{ISO}	Coefficient de décharge calculé en utilisant la Formule (17)	Sans dimension	—
C^*	Fonction critique	Sans dimension	—
C^*_D	Fonction critique pour l'équation de débit utilisant la masse volumique	Sans dimension	—
C^*_P	Fonction critique d'un gaz parfait	Sans dimension	—
C^*_{DA}	Fonction critique de l'air sec	Sans dimension	—
C^*_{HA}	Fonction critique de l'air humide	Sans dimension	—
$C_{i,j}$	Coefficient de calcul de C^*	b	b
c_v	Covariance	Sans dimension	—
D	Diamètre de la conduite d'entrée	L	m
d_{DCM}	Diamètre du col corrigé par DCM	L	m
d_{nt}	Diamètre du col à la température de fonctionnement de la CFN	L	m
d_{nt0}	Diamètre du col mesuré (à la température T_{nt0})	L	m
d_{ORI}	Diamètre du col utilisé lors de l'étalonnage pour la DCM	L	m
d_p	Diamètre de la débouchure de la prise de pression à la paroi dans la conduite	L	m
H_R	Humidité relative	%	—
k	Facteur d'élargissement	Sans dimension	—
l	Longueur du divergent	L	m
l_1	Distance entre la sortie du redresseur en étoile et le plan d'entrée de la tuyère	L	m
l_2	Longueur du redresseur en étoile	L	m
M	Masse molaire	M	kg mol ⁻¹
M_a	Nombre de Mach local	Sans dimension	—
M_{a2}	Nombre de Mach local à la sortie de la CFN en supposant un écoulement entièrement subsonique dans le divergent	Sans dimension	—
M_{aC}	Nombre de Mach local au niveau de la prise de pression d'entrée	Sans dimension	—
p	Pression statique du gaz	ML ⁻¹ T ⁻²	Pa
p_0	Pression d'arrêt du gaz à l'entrée de la CFN	ML ⁻¹ T ⁻²	Pa
p_1	Pression statique du gaz mesuré par la prise de pression à la paroi en amont	ML ⁻¹ T ⁻²	Pa
p_2	Pression statique du gaz à la sortie du divergent	ML ⁻¹ T ⁻²	Pa
p_{2i}	Pression statique théorique du gaz à la sortie du divergent lorsque la tuyère est en régime sonique, mais que l'écoulement dans le divergent est entièrement subsonique	ML ⁻¹ T ⁻²	Pa
p_{den}	Pression statique du gaz au niveau du capteur de masse volumique	ML ⁻¹ T ⁻²	Pa
P_r	Nombre de Prandtl	Sans dimension	—
p^*	Pression statique au point critique	ML ⁻¹ T ⁻²	Pa
p^*_P	Pression statique théorique au point critique d'un gaz parfait	ML ⁻¹ T ⁻²	Pa
q_m	Débit-masse (débit-masse réel)	MT ⁻¹	kg·s ⁻¹
$q_{th,P}$	Débit-masse théorique d'un gaz parfait	MT ⁻¹	kg·s ⁻¹
$q_{th,R}$	Débit-masse théorique d'un gaz réel	MT ⁻¹	kg·s ⁻¹
q_V	Débit-volume	MT ⁻¹	kg·s ⁻¹
R	Constante universelle des gaz (8,314 5 J/(mol·K))	M L ² T ⁻² Θ ⁻¹	J·mol ⁻¹ K ⁻¹
R_a	Moyenne arithmétique de la rugosité	L	m

Symbole	Description	Dimension	Unité SI
Re	Nombre de Reynolds	Sans dimension	—
Re^{ORI}	Nombre de Reynolds utilisé lors de l'étalonnage pour la DCM	Sans dimension	—
R_f	Taux de récupération	Sans dimension	—
r_c	Rayon du convergent de l'entrée	L	m
r_{CBP}	Rapport de contre-pression critique	Sans dimension	—
r_{nt}	Rayon du voisinage de l'entrée du col pour une CFN à col cylindrique	L	m
T	Température statique du gaz	Θ	K
T_0	Température d'arrêt du gaz à l'entrée de la CFN	Θ	K
T_1	Température mesurée du gaz à l'entrée de la CFN	Θ	K
T_{den}	Température statique au capteur de masse volumique	Θ	K
T_m	Température mesurée	Θ	K
T_{nt0}	Température lorsque le diamètre du col a été mesuré	Θ	K
T^*	Température statique au point critique	Θ	K
T^*_p	Température statique théorique au point critique d'un gaz parfait	Θ	K
T_{c^*}	Paramètre de l'équation de C^*	Θ	K
T_μ	Paramètre de l'équation de μ	Θ	K
u	Incertitude-type ($k = 1$)	b	—
u_c	Incertitude-type combinée ($k = 1$)	b	—
U	Incertitude élargie (avec un facteur d'élargissement spécifié, k)	b	U
V_{ij}	Coefficient de calcul de la viscosité	b	U
U	Incertitude élargie (avec un facteur d'élargissement spécifié, k)	b	U
x_i	Fraction molaire du i^e composant	Sans dimension	—
Z	Facteur de compressibilité	Sans dimension	—
Z_0	Facteur de compressibilité dans des conditions de stagnation en amont	Sans dimension	—
Z_{den}	Facteur de compressibilité au capteur de masse volumique	Sans dimension	—
α	Coefficient de dilatation linéaire du matériau de la tuyère	Θ^{-1}	K^{-1}
β	Rapport des diamètres du col et de la conduite (d_{nt}/D)	Sans dimension	—
δ	Incertitude absolue	a	a
γ	Rapport de capacité thermique	Sans dimension	—
κ	Exposant isentropique	Sans dimension	—
μ_0	Viscosité dynamique du gaz dans des conditions d'arrêt à l'entrée	$ML^{-1}T^{-1}$	$Pa \cdot s$
μ	Viscosité dynamique du gaz	$ML^{-1}T^{-1}$	$Pa \cdot s$
θ	Angle de la paroi du tronc de cône du divergent par rapport à l'AOS de la tuyère	Sans dimension	rad
ρ	Masse volumique du gaz	ML^{-3}	kg
ρ_0	Masse volumique du gaz dans les conditions d'arrêt à l'entrée de la tuyère	ML^{-3}	$kg \cdot m^{-3}$
ρ_{den}	Masse volumique du gaz mesurée par un capteur de masse volumique	ML^{-3}	$kg \cdot m^{-3}$
ρ^*	Masse volumique théorique du gaz au point critique	ML^{-3}	$kg \cdot m^{-3}$
ρ^*_p	Masse volumique théorique d'un gaz parfait au point critique	ML^{-3}	$kg \cdot m^{-3}$

Symbole	Description	Dimension	Unité SI
M = masse			
L = longueur			
T = temps			
Θ = température			
^a	La même que celle de la grandeur correspondante.		
^b	En fonction de chaque terme de l'équation.		

Abréviation	Description
AOS	axe de symétrie (<i>axis of symmetry</i>)
CFN	tuyère en régime critique (<i>critical flow nozzle</i>)
CL	ligne de référence (<i>center line</i>)
DCM	méthode de correction du diamètre (<i>diameter correction method</i>)
HPN	tuyère de haute exactitude (<i>high precision nozzle</i>)
NPN	tuyère à exactitude normale (<i>normal precision nozzle</i>)
IP	plan d'entrée (<i>inlet plane</i>)
PUP	phénomène de désamorçage prématuré (<i>premature unchoking phenomenon</i>)
TLS	ligne de surface tangentielle (<i>tangential line of surface</i>)

5 Équations de base (standards.iteh.ai)

5.1 Comportement du gaz

5.1.1 Procédé isentropique

La pression, la température et la masse volumique du gaz lors du procédé isentropique sont liées par les Formules (1) et (2):

$$\frac{p^{\gamma-1}}{T^{\gamma}} = \text{const.} \quad (1)$$

$$\frac{p}{\rho^{\gamma}} = \text{const.} \quad (2)$$

5.1.2 Équation d'état

Le comportement du gaz réel est décrit par la Formule (3):

$$\frac{p}{\rho} = \left(\frac{RZ}{M} \right) T \quad (3)$$