

NORME
INTERNATIONALE

ISO
9300

Première édition
1990-08-15

**Mesure de débit de gaz au moyen de Venturi-
tuyères en régime critique**

Measurement of gas flow by means of critical flow Venturi nozzles
iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 9300:1990

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5824981d-5753-4131-a27e-7db70032604c/iso-9300-1990>



Numéro de référence
ISO 9300 : 1990 (F)

Sommaire

	Page
Avant-propos	iii
1 Domaine d'application	1
2 Définitions et symboles	1
2.1 Définitions	1
2.2 Symboles	2
3 Équations de base	2
3.1 Équations d'état	2
3.2 Débit dans les conditions idéales	4
3.3 Débit dans les conditions réelles	4
4 Applications pour lesquelles la méthode est adaptée	4
5 Venturi-tuyères en régime critique normalisés	4
5.1 Conditions générales	4
5.2 Conception	5
6 Conditions d'installation	6
6.1 Généralités	6
6.2 Canalisation à l'amont	6
6.3 Grand volume à l'amont	6
6.4 Conditions à l'aval	6
6.5 Mesure de pression	6
6.6 Orifices de purge	7
6.7 Mesure de température	7
6.8 Mesure de masse volumique	8
7 Méthodes de calcul	8
7.1 Débit-masse	8
7.2 Coefficient de décharge	8
7.3 Fonction de débit critique	8
7.4 Coefficient de débit critique d'un gaz réel	8
7.5 Conversion des pression et température mesurées aux conditions d'arrêt	8
7.6 Pression maximale admissible à l'aval	9
8 Incertitudes sur la mesure du débit	9
8.1 Généralités	9
8.2 Calcul pratique de l'incertitude	10
 Annexes	
A Coefficient de décharge des Venturi-tuyères	11
B Tableaux des valeurs de la fonction de débit critique, C_{*} , pour divers gaz	12
C Calcul des coefficients de débit critique des gaz réels pour les gaz naturels	14
D Références à partir desquelles les coefficients de débit des Venturi-tuyères normalisés ont été obtenus	15
E Bibliographie	16

© ISO 1990

Droits de reproduction réservés. 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 et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

Organisation internationale de normalisation
Case postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse

Imprimé en Suisse

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 (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 9300 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 30, *Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées*.

ISO 9300:1990

Les annexes A, B et C font partie intégrante de la présente Norme internationale. Les annexes D et E sont données uniquement à titre d'information.

Page blanche

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 9300:1990

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5824981d-5753-4131-a27e-7db70032604c/iso-9300-1990>

Mesure de débit de gaz au moyen de Venturi-tuyères en régime critique

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale prescrit la géométrie et le mode d'emploi (installation dans un circuit et conditions opératoires) de Venturi-tuyères en régime critique utilisés pour déterminer le débit-masse de gaz traversant le circuit. Elle donne également les informations nécessaires au calcul du débit et de l'incertitude associée.

La présente Norme internationale s'applique aux Venturi-tuyères au sein desquels l'écoulement gazeux est accéléré jusqu'à atteindre la vitesse critique au col (la vitesse d'un écoulement critique est égale à la célérité locale du son). Lorsque l'écoulement est critique, le débit-masse traversant le Venturi-tuyère est le plus grand débit possible pour les conditions régissant à l'amont.

La présente Norme internationale s'applique seulement lorsqu'il existe un écoulement stationnaire monophasique de gaz. Les Venturi-tuyères en régime critique dont il est question ici, ne peuvent être utilisés qu'à l'intérieur des limites prescrites, par exemple, pour le rapport du diamètre au col au diamètre à l'amont et pour le nombre de Reynolds au col. Elle traite d'éléments pour lesquels des étalonnages directs ont été effectués, en nombre et en qualité suffisants pour asseoir sur leurs résultats des systèmes d'utilisation cohérents et permettre de déterminer les coefficients avec une marge prévisible d'incertitude.

Les Venturi-tuyères prescrits dans la présente Norme internationale sont appelés «éléments primaires». Les autres appareils nécessaires à la mesure du débit sont appelés «éléments secondaires». La présente Norme internationale ne traite que des éléments primaires; les appareils secondaires ne sont mentionnés qu'occasionnellement.

Les informations données dans la présente Norme internationale sont applicables dans les cas où :

- a) la conduite à l'amont du Venturi-tuyère est de section circulaire, ou
- b) il peut être supposé qu'il existe un grand volume à l'amont du Venturi-tuyère.

2 Définitions et symboles

2.1 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent.

2.1.1 Mesure de pression

2.1.1.1 prise de pression à la paroi: Orifice percé dans la paroi d'une conduite de façon que le bord de l'orifice soit arasé à la paroi intérieure de la conduite. La prise est réalisée de telle manière que la pression dans l'orifice soit la pression statique en ce point de la conduite.

2.1.1.2 pression statique d'un gaz: Pression réelle du gaz en écoulement, qui peut être mesurée en reliant un manomètre à une prise de pression à la paroi.

NOTE — Seule la valeur de la pression statique absolue est utilisée dans la présente Norme internationale.

2.1.1.3 pression d'arrêt d'un gaz: Pression qui régnerait dans le gaz si l'écoulement gazeux était amené au repos par un procédé isentropique.

NOTE — Seule la valeur de la pression d'arrêt absolue est utilisée dans la présente Norme internationale.

2.1.2 Mesure de température

2.1.2.1 température statique d'un gaz: Température réelle du gaz en écoulement.

NOTE — Seule la valeur de la température statique absolue est utilisée dans la présente Norme internationale.

2.1.2.2 température d'arrêt d'un gaz: Température qui régnerait dans le gaz si l'écoulement gazeux était amené au repos par un procédé isentropique.

NOTE — Seule la valeur de la température d'arrêt absolue est utilisée dans la présente Norme internationale.

2.1.3 Tuyères en régime critique

2.1.3.1 Venturi-tuyère: Restriction convergente/divergente insérée dans un système de mesure de débit.

2.1.3.2 col: Section droite de diamètre minimal du Venturi-tuyère.

2.1.3.3 Venturi-tuyère critique: Venturi-tuyère dont la configuration géométrique et les conditions d'utilisation sont telles que l'écoulement est critique.

2.1.4 Écoulement

2.1.4.1 débit-masse, q_m : Masse de gaz traversant le Venturi-tuyère par unité de temps.

NOTE — Dans la présente Norme internationale, le débit est toujours un débit-masse.

2.1.4.2 nombre de Reynolds au col, Re_d : Paramètre sans dimension calculé à partir de la vitesse et de la masse volumique du gaz au col ainsi que de la viscosité dynamique du gaz dans les conditions d'arrêt à l'entrée de la tuyère. La dimension caractéristique est prise égale au diamètre du col dans les conditions de service. Le nombre de Reynolds au col est donné par la formule

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

2.1.4.3 exposant isentropique, κ : Rapport de la variation relative de la pression à la variation relative de la masse volumique correspondante, dans une transformation adiabatique réversible (isentropique) élémentaire :

$$\kappa = \frac{\rho}{p} \left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right)_S = \frac{\rho c^2}{p}$$

où

p est la pression statique absolue du gaz;

ρ est la masse volumique du gaz;

c est la vitesse locale du son;

l'indice S signifie « à entropie constante ».

Pour un gaz parfait¹⁾, κ est égal au rapport des capacités thermiques massiques γ et est égal à 5/3 pour les gaz monoatomiques, 7/5 pour les gaz diatomiques, 9/7 pour les gaz triatomiques, etc.

2.1.4.4 coefficient de décharge, C : Rapport sans dimension du débit réel au débit idéal qui serait obtenu en écoulement monodimensionnel isentropique pour les mêmes conditions d'arrêt à l'amont. Ce coefficient corrige les effets de viscosité et de courbure dans l'écoulement. Pour les types de tuyère et les conditions de montage spécifiés dans la présente Norme internationale, ce coefficient n'est fonction que du nombre de Reynolds au col.

2.1.4.5 écoulement critique: Écoulement pour lequel le débit à travers un Venturi-tuyère donné est maximal pour des conditions données à l'amont. Lorsque l'écoulement est critique, la vitesse au col est égale à la valeur locale de la vitesse du son (célérité acoustique), vitesse à laquelle se propagent de petites perturbations de pression.

2.1.4.6 fonction de débit critique, C_* : Fonction sans dimension qui caractérise les propriétés thermodynamiques d'un écoulement monodimensionnel isentropique entre l'amont et le col d'un Venturi-tuyère. Elle est fonction de la nature du gaz et des conditions d'arrêt (voir 3.2).

2.1.4.7 coefficient de débit critique d'un gaz réel, C_R : Variante de la fonction de débit critique, plus pratique d'emploi pour les mélanges de gaz. Ce coefficient se déduit de la fonction de débit critique par la formule

$$C_R = C_* Z^{1/2}$$

2.1.4.8 rapport de pression critique, r_* : Rapport de la pression statique absolue du gaz au col de la tuyère à la pression d'arrêt absolue pour lequel le débit-masse de gaz au travers de la tuyère est maximal.

2.1.4.9 taux de détente: Rapport de la pression statique absolue à l'aval de la tuyère à la pression absolue d'arrêt à l'amont à partir duquel l'écoulement devient critique.

2.1.4.10 nombre de Mach, Ma_1 (pour les conditions statiques à l'amont): Rapport de la vitesse débitante du fluide à la célérité du son à l'entrée du Venturi-tuyère.

2.1.4.11 facteur de compressibilité, Z : Coefficient correctif exprimant numériquement le fait que le comportement d'un gaz réel, dans des conditions données de pression et de température, s'écarte de la loi des gaz parfaits. Il est défini par la formule

ISO 9300:1990

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/zis/5824981d-5753-4131-a27e-7db70032604c/iso-9300-1990>

$$Z = \frac{pM}{\rho RT}$$

où la constante molaire des gaz, R , est égale à 8,314 3 J/(mol.K).

2.1.5 incertitude: Intervalle de valeurs dans lequel la valeur vraie est estimée se trouver avec une probabilité de 95 %.

Dans certains cas, le niveau de confiance associé à cet intervalle de valeurs peut être supérieur à 95 %, mais il ne peut en être ainsi que lorsqu'une grandeur utilisée dans le calcul du débit est connue avec un niveau de confiance supérieur à 95 %; dans de tels cas, il convient de se reporter à l'ISO 5168.

2.2 Symboles

Les symboles utilisés dans la présente Norme internationale sont donnés au tableau 1.

3 Équations de base

3.1 Équations d'état

Le comportement d'un gaz réel peut être décrit par la formule

$$p/\rho = (R/M) TZ$$

¹⁾ Dans les gaz réels, les forces qui s'exercent entre les molécules ainsi que le volume occupé par les molécules, ont un effet significatif sur le comportement du gaz. Dans un gaz parfait, les forces intermoléculaires et le volume propre des molécules sont considérés comme négligeables.

Tableau 1 — Symboles

Symbole	Grandeur	Dimensions ¹⁾	Unité SI
A_2	Aire de la section de sortie du Venturi-tuyère	L^2	m^2
A_*	Aire du col du Venturi-tuyère	L^2	m^2
C	Coefficient de décharge	Sans dimension	
C_R	Coefficient de débit critique (pour un écoulement monodimensionnel d'un gaz réel)	Sans dimension	
C_*	Fonction de débit critique (pour un écoulement monodimensionnel d'un gaz réel)	Sans dimension	
C_{*i}	Fonction de débit critique (pour un écoulement isentropique monodimensionnel d'un gaz parfait)	Sans dimension	
D	Diamètre de la conduite à l'amont	L	m
d	Diamètre du col du Venturi-tuyère	L	m
E	Incertitude relative	Sans dimension	
e	Incertitude absolue	2)	
M	Masse molaire	M	$kg \cdot kmol^{-1}$
Ma_1	Nombre de Mach dans les conditions statiques à l'entrée de la tuyère	Sans dimension	
p_1	Pression statique absolue du gaz à l'entrée de la tuyère	$ML^{-1} T^{-2}$	Pa
p_2	Pression statique absolue du gaz à la sortie de la tuyère	$ML^{-1} T^{-2}$	Pa
p_0	Pression d'arrêt du gaz à l'entrée de la tuyère	$ML^{-1} T^{-2}$	Pa
p_*	Pression statique absolue du gaz au col de la tuyère	$ML^{-1} T^{-2}$	Pa
p_{*i}	Pression statique absolue du gaz au col de la tuyère pour un écoulement isentropique monodimensionnel d'un gaz parfait	$ML^{-1} T^{-2}$	Pa
$(p_2/p_0)_i$	Rapport de la pression statique à la sortie de la tuyère à la pression d'arrêt à l'entrée pour un écoulement isentropique monodimensionnel d'un gaz parfait	Sans dimension	
q_m	Débit-masse	MT^{-1}	$kg \cdot s^{-1}$
q_{mi}	Débit-masse pour un écoulement isentropique monodimensionnel d'un gaz non visqueux	MT^{-1}	$kg \cdot s^{-1}$
R	Constante universelle des gaz	$ML^2 T^{-2} \Theta^{-1}$	$J \cdot kmol^{-1} K^{-1}$
Re_d	Nombre de Reynolds au col de la tuyère	Sans dimension	
r_c	Rayon de courbure du convergent de la tuyère	L	m
r_*	Rapport de pression critique p_*/p_0	Sans dimension	
T_0	Température d'arrêt du gaz à l'entrée de la tuyère	Θ	K
T_1	Température statique absolue du gaz à l'entrée de la tuyère	Θ	K
T_*	Température statique absolue du gaz au col de la tuyère	Θ	K
v_*	Vitesse critique de l'écoulement au col de la tuyère	LT^{-1}	$m \cdot s^{-1}$
Z	Facteur de compressibilité	Sans dimension	
β	Rapport des diamètres d/D	Sans dimension	
γ	Rapport de la capacité thermique massique à pression constante c_p à la capacité thermique massique à volume constant c_v	Sans dimension	
κ	Exposant isentropique	Sans dimension	
μ_0	Viscosité dynamique du gaz aux conditions d'arrêt à l'entrée de la tuyère	$ML^{-1} T^{-1}$	$Pa \cdot s$
μ_*	Viscosité dynamique du gaz au col de la tuyère	$ML^{-1} T^{-1}$	$Pa \cdot s$
ρ_0	Masse volumique du gaz dans les conditions d'arrêt à l'entrée de la tuyère	ML^{-3}	$kg \cdot m^{-3}$
ρ_*	Masse volumique du gaz au col de la tuyère	ML^{-3}	$kg \cdot m^{-3}$

1) M = masse; L = longueur; T = temps; Θ = température.

2) Paramètre dont la dimension est celle de la grandeur à laquelle il se rapporte.

3.2 Débit dans les conditions idéales

Le débit critique idéal implique trois conditions principales, à savoir :

- l'écoulement est monodimensionnel;
- l'écoulement est isentropique;
- le gaz est parfait (c'est-à-dire $Z = 1$ et $\kappa = \gamma$).

Dans ces conditions, le débit critique est donné par la formule

$$q_{mi} = \frac{A_* C_{*i} p_0}{[(R/M) T_0]^{1/2}}$$

ou

$$q_{mi} = A_* C_{*i} (p_0 \rho_0)^{1/2}$$

avec

$$C_{*i} = \gamma^{1/2} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{(\gamma + 1)/2 (\gamma - 1)}$$

3.3 Débit dans les conditions réelles

Dans les conditions réelles, les formules donnant le débit deviennent :

$$q_m = \frac{A_* C C_* p_0}{[(R/M) T_0]^{1/2}}$$

ou

$$q_m = A_* C C_R (p_0 \rho_0)^{1/2}$$

du fait que

$$C_R = C_* Z_0^{1/2}$$

où Z_0 est la valeur du facteur de compressibilité aux conditions d'arrêt à l'entrée de la tuyère :

$$Z_0 = p_0 M / \rho_0 R T_0$$

Il convient de noter que C_* et C_R ne sont plus égaux à C_{*i} , parce que le gaz n'est pas parfait et que C est inférieur à l'unité car l'écoulement n'est pas monodimensionnel et qu'une couche limite existe à cause des effets dus à la viscosité.

4 Applications pour lesquelles la méthode est adaptée

Il est souhaitable d'examiner toute application afin de déterminer lequel d'un Venturi-tuyère en régime critique ou d'un autre appareil est le plus adapté. Un point important est que le débit traversant le Venturi-tuyère est indépendant de la pression à l'aval (voir 7.6) dans la plage de pression où le Venturi-tuyère peut être utilisé pour mesurer un débit en régime critique.

On tiendra compte également des points suivants.

Pour les Venturi-tuyères en régime critique, les seules mesures nécessaires sont la pression du gaz et la température du gaz ou sa masse volumique à l'amont du Venturi-tuyère critique puisque les conditions au col peuvent être calculées à partir des propriétés thermodynamiques.

Au col d'un Venturi-tuyère critique, la vitesse de l'écoulement est la plus grande possible pour des conditions d'arrêt données à l'amont et par conséquent, la sensibilité aux conditions d'installation est minimale sauf pour les écoulements giratoires qui ne doivent pas exister à l'entrée du Venturi-tuyère.

Si l'on compare les Venturi-tuyères critiques aux appareils déprimogènes subsoniques, on peut noter que pour les tuyères critiques, le débit est directement proportionnel à la pression d'arrêt à l'amont et non pas, comme c'est le cas pour les appareils subsoniques, à la racine carrée de la pression différentielle mesurée.

La gamme maximale de débit qui peut être couverte par un Venturi-tuyère critique donné est généralement limitée à la gamme des pressions disponibles à l'amont au-dessus de la pression à l'amont pour laquelle le débit devient critique.

Les applications les plus courantes des Venturi-tuyères en régime critique sont les essais, l'étalonnage et le contrôle de débit.

5 Venturi-tuyères en régime critique normalisés

5.1 Conditions générales

5.1.1 Le Venturi-tuyère doit être examiné afin de vérifier sa conformité avec les prescriptions de la présente Norme internationale.

5.1.2 Le Venturi-tuyère doit être fabriqué dans un matériau adapté à l'application envisagée. On considèrera notamment que :

- le matériau doit permettre une finition aux conditions requises; certains matériaux sont inadéquats à cause d'aspérités, d'inclusions ou d'autres causes d'hétérogénéité,
- le matériau ainsi que tout traitement de surface utilisé ne doit pas être sujet à la corrosion lors de l'utilisation envisagée,
- le matériau doit être dimensionnellement stable et avoir des caractéristiques de dilatation thermique connues et répétables (s'il doit être utilisé à une température différente de celle pour laquelle le diamètre au col a été mesuré) de façon à permettre une correction appropriée du diamètre du col.

5.1.3 Le col et le convergent toroïdal jusqu'au divergent conique du Venturi-tuyère doivent être polis et leur rugosité moyenne arithmétique, R_a , ne doit pas excéder $15 \times 10^{-6} d$.

5.1.4 Le col et le convergent toroïdal, jusqu'au divergent conique, doivent être propres, sans poussière, films ou autre pollution.

5.1.5 On doit vérifier la forme de la section du divergent conique du Venturi-tuyère pour s'assurer qu'aucun défaut, discontinuité, irrégularité ou écart de circularité n'excède 1 % du diamètre local. La rugosité moyenne arithmétique, R_a , du divergent conique ne doit pas excéder $10^{-4} d$.

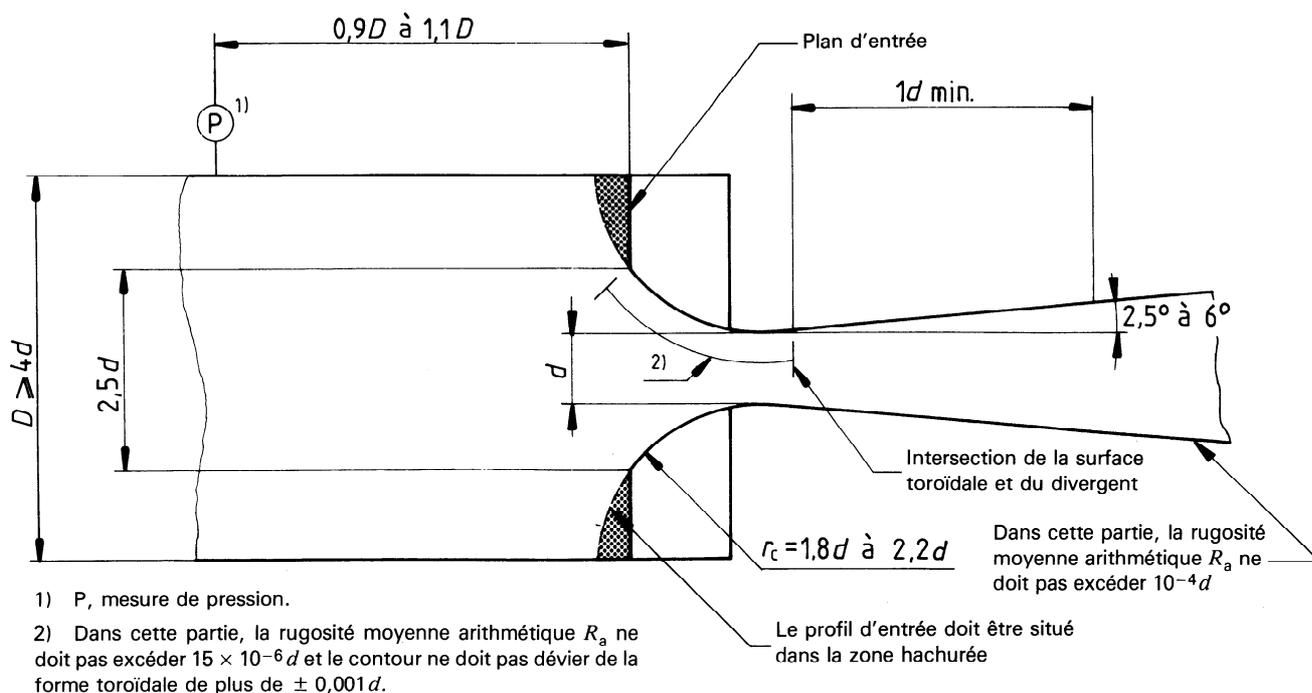


Figure 1 – Venturi-tuyère à col toroïdal

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

5.2 Conception

Deux conceptions différentes sont possibles pour les Venturi-tuyères normalisés, le Venturi-tuyère à col toroïdal et le Venturi-tuyère à col cylindrique.

5.2.2 Venturi-tuyère à col cylindrique

5.2.2.1 Le Venturi-tuyère doit être conforme aux prescriptions montrées à la figure 2.

5.2.1 Venturi-tuyère à col toroïdal

5.2.1.1 Le Venturi-tuyère doit être conforme aux prescriptions montrées à la figure 1.

5.2.1.2 Pour permettre le repérage des autres éléments d'un système de mesurage de débit par Venturi-tuyère en régime critique, le plan d'entrée d'un Venturi-tuyère est défini comme étant le plan perpendiculaire à l'axe de symétrie qui coupe le convergent à un diamètre de $2,5d \pm 0,1d$.

5.2.2.2 Le plan d'entrée est défini comme étant le plan tangent au contour d'entrée et perpendiculaire à l'axe de symétrie de la tuyère.

5.2.2.3 Le convergent du Venturi-tuyère (entrée) doit être un quart de tore tangent d'une part au plan d'entrée (voir 5.2.2.2) et d'autre part au col cylindrique. La longueur du col cylindrique et le rayon de courbure, r_c , du quart de tore doivent être égaux au diamètre du col.

5.2.1.3 Le convergent du Venturi-tuyère (entrée) doit être constitué d'une portion de tore s'étendant au-delà de la section d'aire minimale (col) jusqu'au point de tangence avec le divergent. Le profil du convergent à l'amont du plan d'entrée (voir 5.2.1.2) n'est pas prescrit à part le fait que dans toute section droite le profil doit avoir un diamètre égal ou supérieur à celui du prolongement du profil toroïdal.

5.2.2.4 La surface toroïdale du convergent du Venturi-tuyère ne doit pas dévier de la forme d'un tore de plus de $\pm 0,001d$.

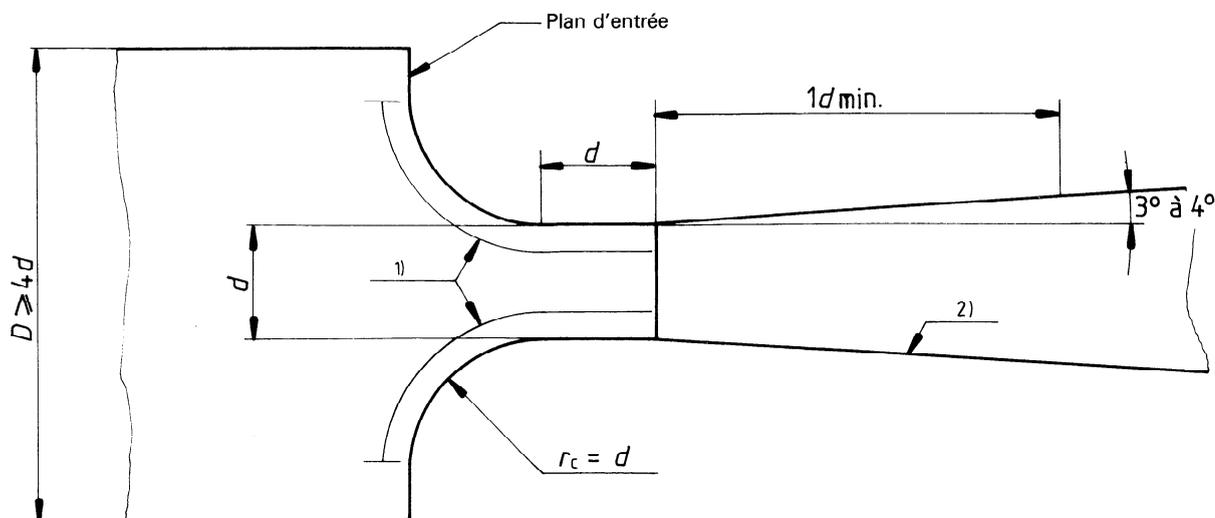
5.2.1.4 La surface toroïdale du Venturi-tuyère située entre le plan d'entrée et le divergent (voir figure 1) ne doit pas s'écarter de la forme d'un tore de plus de $\pm 0,001d$. Le rayon de courbure, r_c , de cette surface toroïdale, mesuré dans un plan contenant l'axe de symétrie, doit être compris entre $1,8d$ et $2,2d$.

5.2.2.5 Le débit doit être calculé à partir du diamètre moyen à la section de sortie du col cylindrique. Le diamètre moyen doit être déterminé en mesurant au moins quatre diamètres régulièrement répartis de façon angulaire à la sortie du col cylindrique. Aucun diamètre mesuré dans le col cylindrique ne doit s'écarter du diamètre moyen de plus de $\pm 0,001d$.

5.2.1.5 Le divergent du Venturi-tuyère en aval du point de tangence avec le tore est constitué d'un tronc de cône de demi-angle au sommet compris entre $2,5^\circ$ et 6° . La longueur du divergent ne doit pas être inférieure au diamètre du col.

La longueur du col ne doit pas s'écarter du diamètre du col de plus de $0,05d$.

Le raccordement entre le quart de tore et le col cylindrique doit être contrôlé visuellement et aucun défaut ne doit être observable. Lorsqu'un défaut de raccordement est observé, on doit vérifier que le rayon de courbure local, mesuré dans un plan contenant l'axe de symétrie, n'est jamais inférieur à $0,5d$ tout au long de la surface d'entrée (quart de tore et col cylindrique). La surface d'entrée doit être convenablement polie de façon que la rugosité arithmétique moyenne R_a n'excède pas $15 \times 10^{-6} d$.



- 1) Dans cette partie, la rugosité moyenne arithmétique R_a ne doit pas excéder $15 \times 10^{-4}d$ et le contour ne doit pas dévier de la forme toroïdale et cylindrique de plus de $\pm 0,001d$.
- 2) Dans cette partie, la rugosité moyenne arithmétique R_a ne doit pas excéder $10^{-4}d$.

Figure 2 — Venturi-tuyère à col cylindrique

Le raccordement entre le col cylindrique et le divergent doit également être contrôlé visuellement et aucun défaut ne doit être observable.

Venturi-tuyère, la conduite ne doit pas présenter de défaut de circularité excédant $0,01D$ et la rugosité moyenne arithmétique, R_a , ne doit pas excéder $10^{-4}D$. Le diamètre de la conduite à l'amont doit être au moins de $4d$.

5.2.2.6 Le divergent du Venturi-tuyère est constitué d'un tronç de cône de demi-angle au sommet compris entre 3° et 4° . La longueur du divergent ne doit pas être inférieure au diamètre du col.

6.3 Grand volume à l'amont

On peut admettre qu'il existe un grand volume à l'amont de l'élément primaire lorsqu'il n'y a pas de paroi à moins de $5d$ de l'axe de l'élément primaire ou du plan d'entrée de l'élément primaire défini en 5.2.1.2 ou 5.2.2.2.

6 Conditions d'installation

6.1 Généralités

La présente Norme internationale s'applique aux deux types de montage suivants :

- a) la canalisation à l'amont du Venturi-tuyère est de section droite circulaire, ou
- b) on peut considérer qu'un volume important se trouve à l'amont du Venturi-tuyère.

Dans le cas a), l'élément primaire doit être monté dans un circuit conforme aux conditions de 6.2. Dans le cas b), l'élément primaire doit être monté dans un circuit conforme aux conditions de 6.3. Dans les deux cas, l'écoulement à l'amont de la tuyère ne doit pas être giratoire. Lorsque la tuyère est précédée d'une canalisation à l'amont, on peut éviter une giration de l'écoulement en montant un redresseur du modèle représenté à la figure 3 à une distance $l_1 > 5D$ en amont du plan d'entrée de la tuyère.

6.2 Canalisation à l'amont

L'élément primaire peut être monté dans une conduite rectiligne de section circulaire qui doit être concentrique à $\pm 0,02D$ près à l'axe du Venturi-tuyère. Jusqu'à $3D$ en amont du

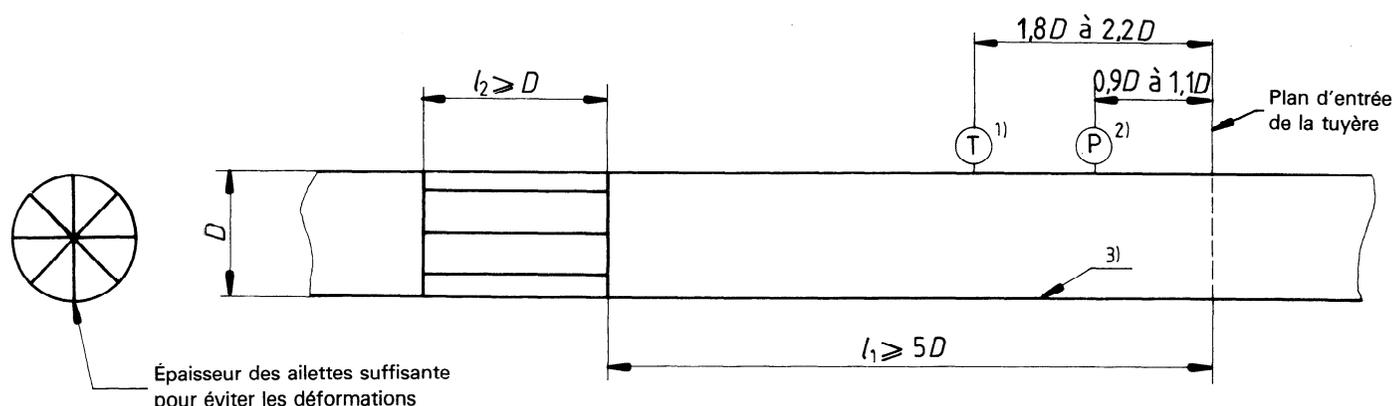
6.4 Conditions à l'aval

Aucune condition n'est imposée à la conduite à l'aval sinon qu'elle ne doit pas constituer une restriction telle qu'elle empêche l'établissement d'un régime critique dans le Venturi-tuyère.

6.5 Mesure de pression

6.5.1 Lorsqu'on utilise une conduite de section circulaire à l'amont de l'élément primaire, la pression statique à l'amont doit de préférence être mesurée à l'aide de prises de pression à la paroi situées à une distance comprise entre $0,9D$ et $1,1D$ du plan d'entrée du Venturi-tuyère (voir figure 1). La prise de pression peut être située en amont ou en aval de cette position à condition qu'il soit prouvé que la pression mesurée peut être utilisée de manière fiable pour donner la pression d'arrêt à l'entrée de la tuyère.

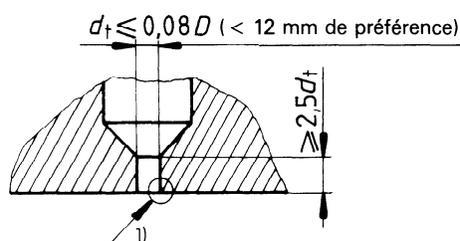
6.5.2 Lorsqu'on admet l'existence d'un grand volume en amont de l'élément primaire, la prise de pression à l'amont doit de préférence être située sur une paroi perpendiculaire au plan d'entrée de l'élément primaire et à une distance maximale de $10d \pm 1d$ de ce plan. La prise de pression peut être située en amont ou en aval de cette position à condition qu'il soit prouvé que la pression mesurée peut être utilisée pour donner de manière fiable la pression d'arrêt à l'entrée de la tuyère.



- 1) P, mesure de pression.
- 2) T, mesure de température.
- 3) Dans cette partie, la rugosité moyenne arithmétique ne doit pas excéder $10^{-4}D$.

Figure 3 — Conditions d'installation dans le cas d'une canalisation à l'amont

6.5.3 Dans le cas mentionné en 6.5.1, et, de préférence, aussi dans le cas mentionné en 6.5.2, l'axe de la prise de pression doit couper l'axe de l'élément primaire à angle droit. À la débouchure, l'orifice doit être circulaire. Les arêtes ne doivent pas comporter de bavures et doivent être vives ou légèrement arrondies à un rayon n'excédant pas 0,1 fois le diamètre de la prise de pression. La conformité des prises de pression à ces exigences doit être jugée par simple contrôle visuel. Lorsqu'une canalisation est utilisée à l'amont, le diamètre de la prise de pression ne doit pas excéder $0,08D$ et, de préférence être inférieur à 12 mm. La prise de pression doit être cylindrique sur une longueur d'au moins 2,5 fois son diamètre (voir figure 4).



- 1) Arête de l'orifice arasée sans bavure et à angle droit avec un rayon d'arrondi égal à $0,1d_t$.

Figure 4 — Détail d'une prise de pression lors de l'utilisation d'une conduite à l'amont

6.5.4 La pression doit être mesurée à l'aval afin de s'assurer que le débit critique est maintenu. La pression sera mesurée à l'aide d'une prise à la paroi située à moins de 0,5 fois le diamètre de conduite de la section de sortie du divergent.

6.5.5 Dans certaines applications, la pression à l'aval peut être déterminée sans utilisation de prise de pression. Par exemple, un Venturi-tuyère peut débiter directement à l'atmosphère ou dans une zone de pression connue. Dans de telles applications, il n'est pas nécessaire de mesurer la pression à l'aval.

6.6 Orifices de purge

La conduite peut être équipée d'orifices de purge nécessaires à l'évacuation de condensats ou autres substances étrangères qui peuvent être collectées dans certaines applications. Les orifices de purge ne doivent être le siège d'aucun écoulement lorsqu'une mesure de débit est en cours. Lorsque des orifices de purge sont nécessaires, ils doivent être situés à l'amont de la prise de pression située à l'amont de la tuyère. Le diamètre des orifices de purge doit être inférieur à $0,06D$. La distance axiale de l'orifice de purge au plan de prise de pression à l'amont doit être supérieure à D et l'orifice doit se situer dans un plan axial différent de celui de la prise de pression.

6.7 Mesure de température

La température à l'entrée doit être mesurée à l'aide d'une ou plusieurs sondes situées en amont du Venturi-tuyère. Lorsqu'une canalisation à l'amont est utilisée, l'emplacement recommandé de ces sondes est à $1,8D$ à $2,2D$ à l'amont du plan d'entrée du Venturi-tuyère, le diamètre de l'élément sensible n'excédant pas $0,04D$ et ce dernier n'étant pas aligné avec une prise de pression dans la direction de l'écoulement. Lorsqu'on ne peut pas se procurer un élément sensible de diamètre inférieur à $0,04D$, on aura soin de le placer de façon qu'il puisse être prouvé qu'il ne perturbe pas la mesure de pression. L'élément sensible peut être situé davantage à l'amont à condition qu'il soit prouvé que la température mesurée peut être utilisée pour donner de manière fiable la température d'arrêt à l'entrée de la tuyère.

Le choix du capteur de température et de l'isolation de la canalisation doit être effectué avec un soin particulier lorsque la température d'arrêt du gaz en écoulement diffère de plus de 5 K de celle du milieu environnant. Dans un tel cas, le capteur utilisé doit être insensible au rayonnement et la canalisation doit être bien isolée pour réduire au minimum l'échange de chaleur entre le gaz en écoulement et le milieu environnant. Si la différence des températures du gaz en écoulement et des parois de la canalisation est significative, il est très difficile de mesurer avec exactitude la température du gaz.