
**Mesurage du débit des fluides au
moyen d'appareils déprimogènes
insérés dans des conduites en charge
de section circulaire —**

Partie 3:
Tuyères et Venturi-tuyères

*Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices
inserted in circular cross-section conduits running full —*

Part 3: Nozzles and Venturi nozzles

ISO 5167-3:2022

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f54eaa2f-0665-4436-870c-35cd6ce0f5e9/iso-5167-3-2022>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 5167-3:2022

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f54eaa2f-0665-4436-870c-35cd6ce0f5e9/iso-5167-3-2022>



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
Introduction	vi
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	2
4 Principes de la méthode de mesure et mode de calcul	2
5 Tuyères et Venturi-tuyères	3
5.1 Tuyère ISA 1932	3
5.1.1 Forme générale	3
5.1.2 Profil de la tuyère	3
5.1.3 Face aval	5
5.1.4 Matériau et fabrication	5
5.1.5 Prises de pression	5
5.1.6 Coefficients des tuyères ISA 1932	7
5.1.7 Incertitudes	8
5.1.8 Perte de pression, $\Delta\omega$	8
5.2 Tuyères à long rayon	9
5.2.1 Généralités	9
5.2.2 Profil de la tuyère à grand rapport d'ouverture	9
5.2.3 Profil de la tuyère à petit rapport d'ouverture	11
5.2.4 Matériau et fabrication	11
5.2.5 Prises de pression	11
5.2.6 Coefficients des tuyères à long rayon	12
5.2.7 Incertitudes	13
5.2.8 Perte de pression, $\Delta\omega$	13
5.3 Tuyères avec prises de pression au col	13
5.3.1 Généralités	13
5.3.2 Profil de la tuyère avec prises de pression au col	13
5.3.3 Matériau et fabrication	14
5.3.4 Prises de pression	15
5.3.5 Coefficients	15
5.3.6 Incertitudes	16
5.3.7 Étalonnage et extrapolation	16
5.3.8 Perte de pression	17
5.4 Venturi-tuyères	17
5.4.1 Forme générale	17
5.4.2 Matériau et fabrication	20
5.4.3 Prises de pression	20
5.4.4 Coefficients	21
5.4.5 Incertitudes	22
5.4.6 Perte de pression	22
6 Exigences d'installation	23
6.1 Généralités	23
6.2 Longueurs droites minimales amont et aval à installer entre différents accessoires et l'élément primaire	23
6.3 Conditionneurs d'écoulement	30
6.4 Circularité et cylindricité de la conduite	30
6.5 Emplacement de l'élément primaire et des bagues porteuses	32
6.6 Mode de fixation et joints	32
7 Étalonnage des tuyères	33
7.1 Généralités	33
7.2 Banc d'essai	33

7.3	Installation de la tuyère	33
7.4	Conception du programme d'essai.....	33
7.5	Compte-rendu des résultats d'étalonnage	34
7.6	Analyse de l'incertitude d'étalonnage.....	34
7.6.1	Généralités.....	34
7.6.2	Incertitude du banc d'essai.....	34
7.6.3	Incertitude de la tuyère.....	34
Annexe A (informative) Tableaux des coefficients de décharge et des coefficients de détente.....		35
Annexe B (informative) Conditionneur d'écoulement de type Akashi (de type Mitsubishi).....		42
Bibliographie.....		43

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 5167-3:2022

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f54eaa2f-0665-4436-870c-35cd6ce0f5e9/iso-5167-3-2022>

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 rédigées 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, de la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute autre 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.html.

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 2, *Appareils déprimogènes*, en collaboration avec le comité technique CEN/SS F05, *Instruments de mesure*, du Comité européen de normalisation, 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 5167-3:2020), dont elle constitue une révision mineure. Les principales modifications sont les suivantes:

- harmonisation avec l'ISO/IEC Guide 98-3;
- apport de modifications mineures pour une harmonisation avec les autres parties de l'ISO 5167.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 5167 se trouve sur le site web de l'ISO.

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

L'ISO 5167, qui comprend six parties, a pour objet la géométrie et le mode d'emploi (conditions d'installation et d'utilisation) des diaphragmes, tuyères, tubes de Venturi, cônes de mesure et débitmètres à coin insérés dans une conduite en charge dans le but de déterminer le débit du fluide s'écoulant dans cette conduite. Elle fournit également les informations nécessaires au calcul de ce débit et de son incertitude associée.

L'ISO 5167 (toutes les parties) est applicable uniquement aux appareils déprimogènes dans lesquels l'écoulement reste subsonique dans tout le tronçon de mesure et où le fluide peut être considéré comme monophasique; elle n'est pas applicable au mesurage d'un écoulement pulsé. De plus, chacun de ces appareils ne peut être utilisé que dans des limites spécifiées de diamètre de conduite et de nombre de Reynolds.

L'ISO 5167 (toutes les parties) traite d'appareils pour lesquels des expériences d'étalonnage direct ont été effectuées en nombre, étendue et qualité suffisants pour que l'on ait pu baser, sur leurs résultats, des systèmes cohérents d'utilisation et pour permettre que les coefficients soient donnés avec une marge d'incertitude prévisible. L'ISO 5167 fournit également une méthodologie pour l'étalonnage personnalisé des manomètres différentiels.

Les appareils interposés dans la conduite sont appelés éléments primaires, en comprenant dans ce terme les prises de pression, tandis que tous les autres instruments ou dispositifs nécessaires à l'accomplissement du mesurage sont appelés éléments secondaires, et le calculateur de débit qui reçoit ces mesures et effectue les algorithmes est appelé élément tertiaire. L'ISO 5167 (toutes les parties) concerne les éléments primaires; les éléments secondaires (ISO 2186) et tertiaires ne seront mentionnés qu'exceptionnellement.

Les aspects de sécurité ne sont pas traités dans l'ISO 5167-1 à l'ISO 5167-6. Il incombe à l'utilisateur de s'assurer que le système est conforme aux réglementations applicables en matière de sécurité.

[ISO 5167-3:2022](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f54eaa2f-0665-4436-870c-35cd6ce0f5e9/iso-5167-3-2022)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f54eaa2f-0665-4436-870c-35cd6ce0f5e9/iso-5167-3-2022>

Mesurage du débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduites en charge de section circulaire —

Partie 3: Tuyères et Venturi-tuyères

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie la géométrie et le mode d'emploi (conditions d'installation et d'utilisation) de tuyères et de Venturi-tuyères insérés dans une conduite en charge dans le but de déterminer le débit du fluide s'écoulant dans cette conduite.

Le présent document fournit également des informations de fond nécessaires au calcul de ce débit, et il convient de l'utiliser conjointement avec les exigences stipulées dans l'ISO 5167-1.

Le présent document est applicable aux tuyères et aux Venturi-tuyères dans lesquels l'écoulement reste subsonique dans tout le tronçon de mesurage et dans lesquels un fluide peut être considéré comme monophasique. De plus, chacun de ces appareils ne peut être utilisé que dans des limites spécifiées de diamètre de conduite et de nombre de Reynolds. Il n'est pas applicable au mesurage d'un écoulement pulsé. Il ne couvre pas l'utilisation de tuyères et de Venturi-tuyères dans des conduites de diamètre inférieur à 50 mm ou supérieur à 630 mm, ni les cas où les nombres de Reynolds rapportés à la tuyauterie sont inférieurs à 10 000.

Le présent document traite

- a) de trois types de tuyères normalisées:
 - 1) la tuyère ISA 1932¹⁾;
 - 2) la tuyère à long rayon²⁾;
 - 3) la tuyère avec prises de pression au col;
- b) du Venturi-tuyère.

Les trois types de tuyères normalisées sont fondamentalement différents et sont décrits séparément dans le présent document. Le Venturi-tuyère a la même face amont que la tuyère ISA 1932, mais, étant donné qu'il comporte un divergent et, par conséquent, un emplacement différent pour les prises de pression aval, il est décrit séparément. Ce modèle présente une perte de pression plus basse qu'une tuyère similaire. Pour toutes ces tuyères et pour le Venturi-tuyère, des étalonnages directs ont été réalisés, en nombre suffisant, sur une gamme suffisante et avec une qualité suffisante pour permettre à des systèmes d'application cohérents de se baser sur leurs résultats et coefficients dans certaines limites prévisibles d'incertitude.

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.

- 1) ISA est le sigle de la Fédération internationale des associations nationales de normalisation, organisme remplacé par l'ISO en 1946.
- 2) La tuyère à long rayon se distingue de la tuyère ISA 1932 par sa forme et par la position des prises de pression.

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 5167-1, *Mesurage de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduites en charge de section circulaire — Partie 1: Principes généraux et exigences générales*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes, définitions et symboles donnés dans l'ISO 4006 et dans l'ISO 5167-1 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/>

4 Principes de la méthode de mesure et mode de calcul

Le principe de la méthode de mesure consiste à interposer une tuyère ou un Venturi-tuyère sur le passage d'un fluide s'écoulant en charge dans une conduite, ce qui crée une pression différentielle statique entre le côté amont et le col. On peut déduire la valeur du débit de la mesure de cette pression différentielle et de la connaissance des caractéristiques du fluide en écoulement ainsi que des circonstances d'utilisation de l'appareil. Il est admis que celui-ci est géométriquement semblable à l'un de ceux ayant fait antérieurement l'objet d'étalonnages directs et qu'il est utilisé dans les mêmes conditions, c'est-à-dire qu'il est en tous points conforme au présent document.

Le débit-masse peut être déterminé à l'aide de la [Formule \(1\)](#):

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1} \quad (1)$$

Les limites d'incertitude peuvent être calculées en utilisant le mode opératoire indiqué dans l'ISO 5167-1:2022, Article 8.

De même, on peut calculer la valeur du débit-volume à l'aide de la [Formule \(2\)](#):

$$q_V = \frac{q_m}{\rho} \quad (2)$$

où

ρ est la masse volumique du fluide à la température et à la pression pour lesquelles le volume est donné;

q_V est le débit-volume.

Le calcul du débit, qui est un procédé purement arithmétique, est effectué en remplaçant les différents termes situés à droite de la [Formule \(1\)](#) par leurs valeurs numériques. Les [Tableaux A.1](#) à [A.5](#) sont donnés à titre indicatif. Les [Tableaux A.1](#), [A.2](#) et [A.4](#) donnent les valeurs de C en fonction de β . Le [Tableau A.3](#) donne les valeurs de C en fonction de Re_d . Le [Tableau A.5](#) donne les facteurs de détente, ε . Ces valeurs ne sont pas prévues pour une interpolation précise. L'extrapolation n'est pas permise.

Le coefficient de décharge, C , peut être fonction du nombre de Reynolds, Re_D ou Re_d , qui est lui-même fonction de q_m . Il convient d'obtenir la valeur de C par itération. (Voir l'ISO 5167-1 pour obtenir des recommandations sur le choix du mode opératoire d'itération et des estimations initiales).

Les diamètres d et D mentionnés dans la [Formule \(1\)](#) sont les valeurs des diamètres dans les conditions de service. Il convient donc de corriger les valeurs d et D mesurées dans d'autres conditions pour tenir compte de la dilatation ou de la contraction éventuelle du diaphragme et de la conduite résultant des valeurs de la température et de la pression du fluide lors du mesurage.

Il est nécessaire de connaître la masse volumique et la viscosité du fluide dans les conditions de service. Dans le cas de fluide compressible, il est également nécessaire de connaître l'exposant isentropique du fluide dans les conditions de service.

5 Tuyères et Venturi-tuyères

5.1 Tuyère ISA 1932

5.1.1 Forme générale

La partie de la tuyère située à l'intérieur de la conduite présente une symétrie de révolution. La tuyère se compose d'un convergent à profil arrondi et d'un col cylindrique.

La [Figure 1](#) représente la coupe d'une tuyère ISA 1932 par un plan passant par l'axe du col.

Les lettres dans le texte renvoient aux repères correspondants à la [Figure 1](#).

5.1.2 Profil de la tuyère

5.1.2.1 On peut décrire le profil de la tuyère en distinguant:

- une partie plane d'entrée A, perpendiculaire à l'axe;
- un convergent défini par deux arcs de circonférences B et C;
- un col cylindrique E; et
- un chambrage F (nécessaire seulement si l'on craint d'endommager l'arête G).

5.1.2.2 La partie plane d'entrée A est limitée par une circonférence centrée sur l'axe de révolution, de diamètre $1,5d$, et par la circonférence intérieure de la conduite, de diamètre D .

Lorsque $d = (2/3)D$, la largeur radiale de cette partie plane est nulle.

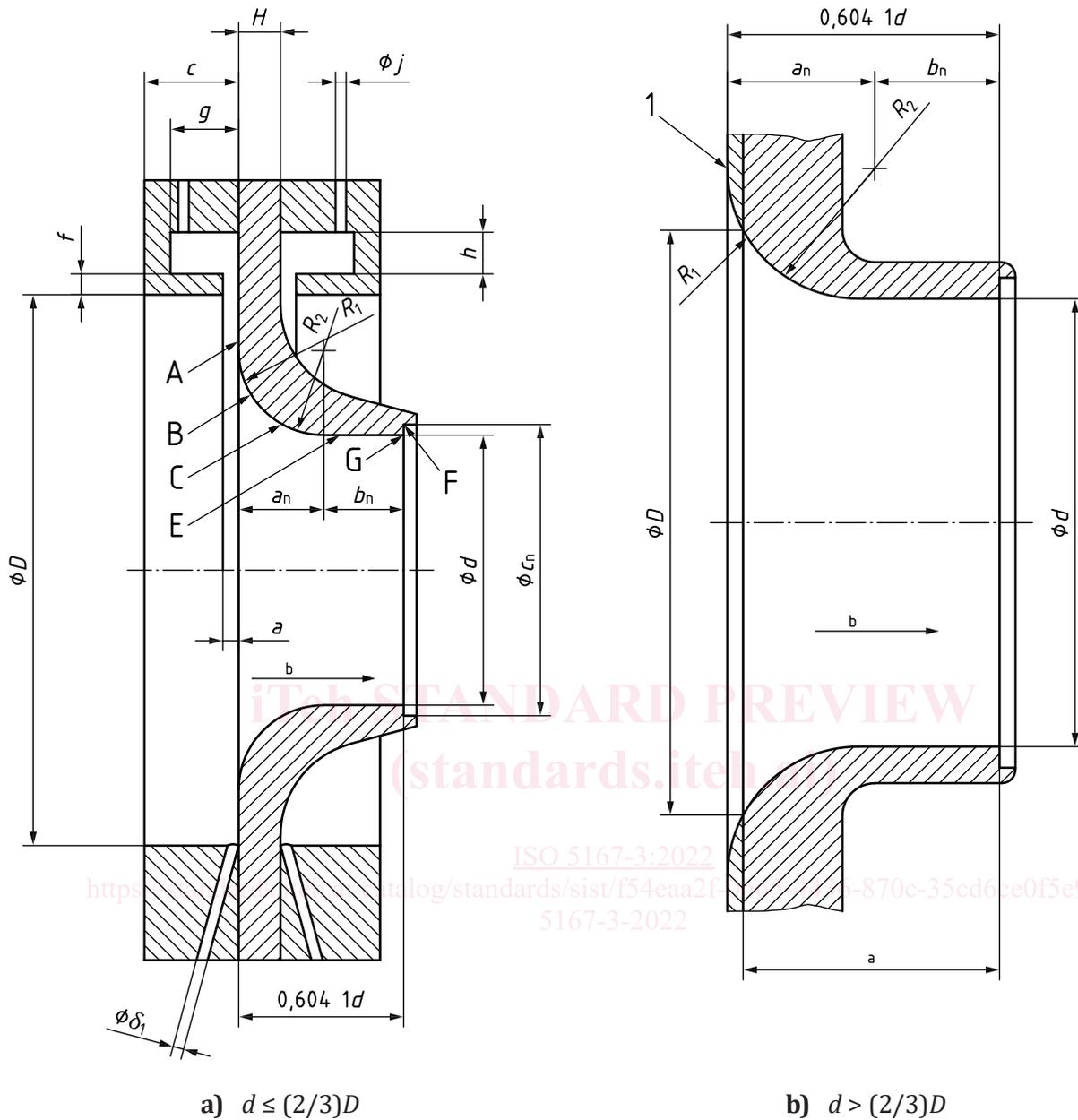
Lorsque d est supérieur à $(2/3)D$, la face amont ne comporte pas de partie plane d'entrée intérieure à la conduite. Dans ce cas, on fabrique la tuyère comme si D était supérieur à $1,5d$ et on tronçonne ensuite la partie plane d'entrée de telle sorte que le plus grand diamètre du profil convergent soit juste égal à D [voir [5.1.2.7](#) et [Figure 1](#) b)].

5.1.2.3 L'arc de circonférence B est tangent à la partie plane d'entrée A lorsque $d < (2/3)D$. Son rayon, R_1 , est égal à $0,2d \pm 0,02d$ lorsque $\beta < 0,5$ et à $0,2d \pm 0,006d$ lorsque $\beta \geq 0,5$. Son centre est situé à $0,2d$ de la partie plane d'entrée et à $0,75d$ de l'axe de révolution.

5.1.2.4 L'arc de circonférence C est tangent à l'arc de circonférence B et au col E. Son rayon, R_2 , est égal à $d/3 \pm 0,033d$ lorsque $\beta < 0,5$ et à $d/3 \pm 0,01d$ lorsque $\beta \geq 0,5$. Son centre est situé à $d/2 + d/3 = (5/6)d$ de l'axe de révolution et tel que donné par la [Formule \(3\)](#), à

$$a_n = \left(\frac{12 + \sqrt{39}}{60} \right) d = 0,3041d \quad (3)$$

de la partie plane d'entrée A.



Légende

- 1 partie à tronçonner
- a Voir 5.1.2.7.
- b Sens de l'écoulement.

Figure 1 — Tuyère ISA 1932

5.1.2.5 Le col E a un diamètre d et une longueur $b_n = 0,3d$.

On doit prendre pour valeur de d la moyenne des mesures d'au moins quatre diamètres situés dans des plans méridiens formant entre eux des angles approximativement égaux.

Le col doit être cylindrique. Aucun diamètre d'une section quelconque ne doit différer de plus de 0,05 % par rapport à la valeur du diamètre moyen. Cette exigence est considérée comme satisfaite lorsque les différences de longueur de n'importe lequel des diamètres mesurés sont conformes à ladite exigence en ce qui concerne l'écart à la moyenne des diamètres mesurés.

5.1.2.6 Le chambrage F a un diamètre c_n au moins égal à $1,06d$ et une longueur inférieure ou égale à $0,03d$. Le rapport de la profondeur du chambrage $(c_n - d)/2$ à sa longueur axiale ne doit pas être supérieur à 1,2.

L'arête de sortie G doit être vive.

5.1.2.7 La longueur totale de la tuyère, chambrage F non compris, en fonction de la valeur de β , est égale à

$$0,604 \, 1d \text{ pour } 0,3 \leq \beta \leq \frac{2}{3}$$

et

$$\left(0,404 \, 1 + \sqrt{\frac{0,75}{\beta} - \frac{0,25}{\beta^2} - 0,522 \, 5} \right) d \text{ pour } \frac{2}{3} < \beta \leq 0,8.$$

5.1.2.8 On doit vérifier au gabarit le profil du convergent d'entrée.

Deux diamètres du convergent d'entrée situés dans le même plan perpendiculaire à l'axe de révolution ne doivent pas différer entre eux de plus de 0,1 % de leur valeur moyenne.

5.1.2.9 La surface de la face amont et du col doit être telle qu'elle présente un critère de rugosité $Ra \leq 10^{-4}d$.

5.1.3 Face aval

5.1.3.1 L'épaisseur H ne doit pas dépasser $0,1D$.

5.1.3.2 En dehors de la condition spécifiée en [5.1.3.1](#), le profil et la finition de la face aval ne sont pas spécifiés (voir [5.1.1](#)).

5.1.4 Matériau et fabrication

La tuyère ISA 1932 peut être fabriquée en n'importe quel matériau et de n'importe quelle manière, pourvu qu'elle reste conforme à la description ci-devant pendant le mesurage du débit.

5.1.5 Prises de pression

5.1.5.1 Des prises de pression dans les angles doivent être utilisées en amont de la tuyère.

Les prises de pression amont peuvent être des prises de pression individuelles ou des fentes annulaires. Ces deux types de prises peuvent être placées sur la conduite, dans ses brides ou dans des bagues porteuses comme indiqué à la [Figure 1](#).

L'éloignement entre les axes de prises de pression amont individuelles et la face A est égal au demi-diamètre ou à la demi-largeur des prises elles-mêmes, de sorte que les prises de pression débouchent au ras de la face A. L'axe des prises de pression amont individuelles doivent correspondre à l'axe de l'élément primaire à un angle aussi voisin que possible de 90° .

Le diamètre δ_1 d'une prise de pression individuelle amont et la largeur a de fentes annulaires sont spécifiés ci-après. Le diamètre minimal est déterminé en pratique par le besoin d'éviter un blocage accidentel et de fournir des performances dynamiques satisfaisantes.

Pour des fluides propres et pour des vapeurs:

— pour $\beta \leq 0,65$: $0,005D \leq a$ ou $\delta_1 \leq 0,03D$

— pour $\beta > 0,65$: $0,01D \leq a$ ou $\delta_1 \leq 0,02D$.

Pour toute valeur de β :

— pour des fluides propres: $1 \text{ mm} \leq a$ ou $\delta_1 \leq 10 \text{ mm}$

— pour des vapeurs, dans le cas de chambres annulaires: $1 \text{ mm} \leq a \leq 10 \text{ mm}$

— pour des vapeurs et pour des gaz liquéfiés, dans le cas de prises individuelles: $4 \text{ mm} \leq \delta_1 \leq 10 \text{ mm}$.

NOTE Les exigences de dimensions sous forme de fraction de diamètre de la conduite se basent sur une similitude géométrique avec les tuyères d'origine qui ont permis de déterminer le coefficient de décharge. Pour les vapeurs et les gaz liquéfiés, il est impossible de fabriquer, pour certains diamètres de conduite, un système utilisant des prises de pression individuelles conformément au présent document.

Les fentes annulaires débouchent habituellement dans la conduite sur toute la circonférence, sans discontinuité. Si ce n'est pas le cas, chaque chambre annulaire doit communiquer avec l'intérieur de la conduite par au moins quatre ouvertures dont les axes forment entre eux des angles égaux et dont la surface d'ouverture individuelle est au moins égale à 12 mm^2 .

Le diamètre intérieur b des bagues porteuses doit être supérieur ou égal au diamètre D de la conduite, afin de s'assurer que les bagues ne débordent pas dans la conduite, mais il doit être inférieur ou égal à $1,04D$. De plus, la condition suivante doit être remplie:

$$\frac{b-D}{D} \times \frac{c}{D} \times 100 \leq \frac{0,1}{0,1+2,3\beta^4} \quad (4)$$

La longueur c de la bague amont (voir [Figure 1](#)) ne doit pas être supérieure à $0,5D$.

L'épaisseur f de la fente doit être supérieure ou égale au double de la largeur a de la fente annulaire. L'aire de la section de la chambre annulaire, gh , doit être supérieure ou égale à la moitié de l'aire totale de l'ouverture reliant cette chambre à l'intérieur de la conduite.

Toutes les surfaces de la bague, entrant en contact avec le fluide mesuré, doivent être propres et comporter une finition bien usinée.

Les prises de pression reliant les chambres annulaires aux éléments secondaires sont des prises de pression à la paroi, de débouchure circulaire et de diamètre j compris entre 4 mm et 10 mm.

Les bagues porteuses amont et aval ne doivent pas nécessairement être symétriques l'une par rapport à l'autre, mais chacune d'elles doit être conforme aux exigences ci-dessus.

Le diamètre de la conduite doit être mesuré comme indiqué en [6.4.2](#), la bague porteuse étant considérée comme faisant partie de l'élément primaire. Cela s'applique également à l'exigence de distance donnée en [6.4.4](#), de sorte que la distance s doive être mesurée à partir de l'arête amont du chambrage formé par la bague porteuse.

5.1.5.2 Les prises de pression aval peuvent être soit des prises dans les angles comme indiqué en [5.1.5.1](#), soit des prises telles que celles décrites ci-après.

La distance entre le centre de la prise et la face amont de la tuyère doit être

— $\leq 0,15D$ pour $\beta \leq 0,67$;

— $\leq 0,20D$ pour $\beta > 0,67$.

Lors de l'installation des prises de pression, il faut tenir compte de l'épaisseur des joints et/ou du matériel d'étanchéité.

L'axe de la prise doit rencontrer l'axe de la conduite et former avec lui un angle aussi voisin que possible de 90° , mais dans tous les cas à 3° près de la perpendiculaire. La débouchure du trou doit être circulaire. Les arêtes doivent être arasées à la paroi intérieure de la conduite, et l'angle doit être aussi vif que

possible. Pour assurer l'élimination de toutes les bavures et de tous les morfils sur l'arête intérieure, il est permis de créer un léger arrondi, mais cet arrondi doit être aussi petit que possible et, lorsqu'il est possible de le mesurer, son rayon ne doit pas dépasser le dixième du diamètre de la prise de pression. Il ne doit pas y avoir d'irrégularité à l'intérieur du trou de raccordement, ni sur les arêtes du trou percé dans la paroi de la conduite ni sur la paroi même de la conduite près de la prise de pression. On peut juger de la conformité des prises de pression aux exigences de ce paragraphe par inspection visuelle.

Le diamètre des prises de pression doit être inférieur à $0,13D$ et inférieur à 13 mm.

Il n'y a pas, pour ce diamètre, de limite minimale, déterminée en pratique par le besoin d'éviter un blocage accidentel et d'obtenir des performances dynamiques satisfaisantes. Le diamètre de la prise de pression amont et celui de la prise de pression aval doivent être égaux.

Les prises de pression doivent être circulaires et cylindriques sur une longueur d'au moins 2,5 fois leur diamètre intérieur, mesuré à partir de la paroi intérieure de la conduite.

Les axes des prises de pression peuvent être situés dans un plan méridien quelconque passant par l'axe de la conduite.

L'axe de la prise de pression amont et celui de la prise de pression aval peuvent être situés dans des plans méridiens différents.

5.1.6 Coefficients des tuyères ISA 1932

5.1.6.1 Limites d'emploi

Ce type de tuyère ne doit être utilisé conformément au présent document que lorsque

- $50 \text{ mm} \leq D \leq 500 \text{ mm}$;
- $0,3 \leq \beta \leq 0,8$;

et lorsque Re_D se trouve dans les limites suivantes:

- pour $0,30 \leq \beta < 0,44$ $7 \times 10^4 \leq Re_D \leq 10^7$;
- pour $0,44 \leq \beta \leq 0,80$ $2 \times 10^4 \leq Re_D \leq 10^7$.

De plus, la rugosité relative de la conduite doit être conforme aux valeurs indiquées dans le [Tableau 1](#).

Tableau 1 — Limites supérieures de la rugosité relative de la conduite amont pour les tuyères ISA 1932

β	$\leq 0,35$	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,60	0,70	0,77	0,80
$10^4 Ra/D$	8,0	5,9	4,3	3,4	2,8	2,4	2,1	1,9	1,8	1,4	1,3	1,2	1,2

NOTE La plupart des données sur lesquelles est basé le présent tableau ont été probablement collectées dans la plage $Re_D \leq 10^6$; des limites plus sévères de rugosité de la conduite sont probablement nécessaires pour des nombres de Reynolds plus élevés.

La plupart des essais sur lesquels sont fondées les valeurs du coefficient de décharge C indiqué dans le présent document, ont été effectués dans des conduites présentant une rugosité relative de $Ra/D \leq 1,2 \times 10^{-4}$. Des conduites présentant une rugosité relative plus élevée peuvent être utilisées si la rugosité pour une distance d'au moins $10D$ en amont de la tuyère se trouve dans les limites données dans le [Tableau 1](#). Des informations sur la façon de déterminer Ra sont indiquées dans l'ISO 5167-1.

5.1.6.2 Coefficient de décharge, C

Le coefficient de décharge, C , est donné par la [Formule \(5\)](#):

$$C = 0,990 - 0,226 \beta^{4,1} - (0,00175\beta^2 - 0,0033\beta^{4,15}) \left(\frac{10^6}{Re_D} \right)^{1,15} \quad (5)$$

Les valeurs de C en fonction de β et Re_D sont données à titre indicatif dans le [Tableau A.1](#). Ces valeurs ne sont pas prévues pour une interpolation précise. L'extrapolation n'est pas permise.

5.1.6.3 Coefficient de détente, ε

Le coefficient de détente, ε , est calculé à l'aide de la [Formule \(6\)](#):

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\kappa \tau^{2/\kappa}}{\kappa - 1} \right) \left(\frac{1 - \beta^4}{1 - \beta^4 \tau^{2/\kappa}} \right) \left(\frac{1 - \tau^{(\kappa-1)/\kappa}}{1 - \tau} \right)} \quad (6)$$

La [Formule \(6\)](#) est applicable seulement pour les valeurs de β , D et Re_D telles que spécifiées en [5.1.6.1](#). Des résultats d'essais effectués pour déterminer ε ne sont connus que pour l'air, la vapeur d'eau et le gaz naturel. Toutefois, on ne connaît pas d'objection à l'utilisation de la même formule pour d'autres gaz et vapeurs dont l'exposant isentropique est connu.

Cependant, la [Formule \(6\)](#) n'est applicable que si $p_2/p_1 \geq 0,75$.

Les valeurs du coefficient de détente en fonction de l'exposant isentropique, du rapport des pressions et du rapport des diamètres sont données à titre indicatif dans le [Tableau A.5](#). Ces valeurs ne sont pas prévues pour une interpolation précise. L'extrapolation n'est pas permise.

5.1.7 Incertitudes

5.1.7.1 Incertitude sur le coefficient de décharge, C

Lorsque β , D , Re_D et Ra/D sont supposés connus sans erreur, U'_C , l'incertitude relative élargie de la valeur de C à $k = 2$ (niveau de confiance de 95 % environ), est égale à

- 0,8 % pour $\beta \leq 0,6$;
- $(2\beta - 0,4)$ % pour $\beta > 0,6$.

5.1.7.2 Incertitude sur le coefficient de détente, ε

U'_ε , l'incertitude relative élargie de la valeur de ε à $k = 2$ (niveau de confiance de 95 % environ) est égale à

$$2 \frac{\Delta p}{p_1} \%$$

5.1.8 Perte de pression, $\Delta\varpi$

La perte de pression, $\Delta\varpi$, pour la tuyère ISA 1932, est liée approximativement à la pression différentielle Δp par la [Formule \(7\)](#):

$$\Delta\varpi = \frac{\sqrt{1 - \beta^4 (1 - C^2)} - C\beta^2}{\sqrt{1 - \beta^4 (1 - C^2)} + C\beta^2} \Delta p \quad (7)$$

Cette perte de pression est la différence de pression statique entre la pression mesurée à la paroi en amont de l'élément primaire, à un endroit où l'influence de la pression d'impact d'approche au

voisinage de l'élément est encore négligeable (approximativement D en amont de l'élément primaire), et celle mesurée en aval de l'élément primaire, à un endroit où la récupération de pression statique par expansion du jet peut être considérée comme juste terminée (approximativement $6D$ en aval de l'élément primaire).

Le coefficient de perte de pression, K , pour la tuyère ISA 1932, est

$$K = \left[\frac{\sqrt{1 - \beta^4 (1 - C^2)}}{C \beta^2} - 1 \right]^2 \quad (8)$$

où K est défini par la [Formule \(9\)](#):

$$K = \frac{\Delta \varpi}{\frac{1}{2} \rho_1 U^2} \quad (9)$$

5.2 Tuyères à long rayon

5.2.1 Généralités

Il existe deux formes de tuyères à long rayon, à savoir:

- à grand rapport d'ouverture ($0,25 \leq \beta \leq 0,8$); et
- à petit rapport d'ouverture ($0,20 \leq \beta \leq 0,5$).

Pour les valeurs de β comprises entre 0,25 et 0,5, on peut utiliser l'une ou l'autre forme.

La [Figure 2](#) représente les coupes des tuyères à long rayon par un plan passant par l'axe du col.

Les lettres dans le texte renvoient aux repères correspondants à la [Figure 2](#).

Les deux formes de tuyères comportent un convergent d'entrée en quart d'ellipse et un col cylindrique.

La partie de la tuyère située à l'intérieur de la conduite doit présenter une symétrie de révolution, exception faite éventuellement des débouchures des prises de pression.

5.2.2 Profil de la tuyère à grand rapport d'ouverture

5.2.2.1 On peut décrire la face intérieure de la tuyère en distinguant

- une partie convergente A;
- un col cylindrique B; et
- une coupe franche C.

5.2.2.2 Le convergent A est en forme de quart d'ellipse.

Le centre de l'ellipse est à une distance $D/2$ de l'axe de révolution. Le grand axe de l'ellipse est parallèle à l'axe de révolution. La valeur du demi-grand axe est $D/2$. La valeur du demi-petit axe est $(D - d)/2$.

Le profil du convergent doit être vérifié au gabarit. Deux diamètres du convergent situés dans le même plan perpendiculaire à l'axe ne doivent pas différer entre eux de plus de 0,1 % de leur valeur moyenne.

5.2.2.3 Le col B a un diamètre d et une longueur $0,6d$.

On doit prendre pour valeur de d la moyenne des mesures d'au moins quatre diamètres situés dans des plans méridiens formant entre eux des angles approximativement égaux.