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

Partie 4:
Tubes de Venturi

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

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

ISO 5167-4:2003
Part 4: Venturi tubes

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bf7939df-3a77-484e-8e6c-e059e0c65763/iso-5167-4-2003>



PDF – Exonération de responsabilité

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 5167-4:2003](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bf7939df-3a77-484e-8e6c-e059e0c65763/iso-5167-4-2003)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bf7939df-3a77-484e-8e6c-e059e0c65763/iso-5167-4-2003>

© ISO 2003

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, 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'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 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	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives.....	2
3 Termes, définitions et symboles	2
4 Principes de la méthode de mesurage et mode de calcul	2
5 Tubes de Venturi classiques	3
5.1 Domaine d'application	3
5.2 Forme générale	3
5.3 Matériau et fabrication	7
5.4 Prises de pression	8
5.5 Coefficient de décharge, C	9
5.6 Coefficient de détente, ϵ	10
5.7 Incertitude sur le coefficient de décharge C	10
5.8 Incertitude sur le coefficient de détente ϵ	10
5.9 Perte de pression	10
6 Exigences d'installation	12
6.1 Généralités	12
6.2 Longueurs droites minimales d'amont et d'aval à installer entre différents accessoires et le tube de Venturi	12
6.3 Conditionneurs d'écoulement	15
6.4 Exigences spécifiques supplémentaires d'installation pour les tubes de Venturi classiques	16
Annexe A (informative) Tableau des coefficients de détente	17
Annexe B (informative) Tubes de Venturi classiques en dehors du domaine couvert par l'ISO 5167- 4	18
Annexe C (informative) Perte de pression dans un tube de Venturi classique	22
Bibliographie	24

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 Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. 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.

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.

L'ISO 5167-4 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*.

Cette première édition de l'ISO 5167-4, conjointement avec la deuxième édition de l'ISO 5167-1 et les premières éditions de l'ISO 5167-2 et de l'ISO 5167-3, annule et remplace la première édition de l'ISO 5167-1:1991, laquelle a fait l'objet d'une révision technique, ainsi que l'ISO 5167-1:1991/Amd.1:1998.

L'ISO 5167 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Mesure 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*
- *Partie 2: Diaphragmes*
- *Partie 3: Tuyères et Venturi-tuyères*
- *Partie 4: Tubes de Venturi*

Introduction

L'ISO 5167, qui comprend quatre parties, a pour objet la géométrie et le mode d'emploi (conditions d'installation et d'utilisation) des diaphragmes, tuyères et tubes de Venturi 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 est applicable uniquement aux appareils déprimogènes dans lesquels l'écoulement reste subsonique dans tout le tronçon de mesurage 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 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.

Les appareils interposés dans la conduite sont appelés «éléments primaires», en comprenant dans ce terme les prises de pression, tandis que l'on appelle «éléments secondaires» tous les autres instruments ou dispositifs nécessaires à l'accomplissement de la mesure. L'ISO 5167 concerne les éléments primaires et ne mentionne qu'exceptionnellement les éléments secondaires¹⁾.

Les quatre parties formant l'ISO 5167 sont structurées comme suit.

- a) L'ISO 5167-1, à utiliser conjointement avec l'ISO 5167-2, l'ISO 5167-3 et l'ISO 5167-4, donne des informations générales, telles que termes et définitions, symboles, principes et exigences, tout comme des méthodes pour le mesurage du débit et pour le calcul de l'incertitude.
- b) L'ISO 5167-2 spécifie les diaphragmes avec lesquels sont utilisées des prises de pression dans les angles, des prises de pression à D et à $D/2$ et des prises de pression à la bride.²⁾
- c) L'ISO 5167-3 spécifie les tuyères ISA 1932³⁾, les tuyères à long rayon et les Venturi-tuyères, lesquels diffèrent entre eux par leur forme et l'emplacement des prises de pression.
- d) L'ISO 5167-4 spécifie les tubes de Venturi classiques⁴⁾.

Les aspects de sécurité ne sont pas traités dans les Parties 1 à 4 de l'ISO 5167. Il incombe à l'utilisateur de s'assurer que le système remplit les réglementations applicables en matière de sécurité.

1) Voir l'ISO 2186:1973, *Débit des fluides dans les conduites fermées — Liaisons pour la transmission du signal de pression entre les éléments primaires et secondaires*.

2) Les diaphragmes à prises de pression «vena contracta» ne sont pas traités dans l'ISO 5167.

3) ISA est le sigle de la Fédération internationale des associations nationales de normalisation, organisme auquel l'ISO a succédé en 1946.

4) Aux États-Unis, le tube de Venturi classique est parfois nommé «tube de Herschel».

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 5167-4:2003

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bf7939df-3a77-484e-8e6c-e059e0c65763/iso-5167-4-2003>

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

Partie 4: Tubes de Venturi

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 5167 spécifie la géométrie et le mode d'emploi (conditions d'installation et d'utilisation) de tubes de Venturi insérés dans une conduite en charge dans le but de déterminer le débit du fluide s'écoulant dans cette conduite.

La présente partie de l'ISO 5167 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.

La présente partie de l'ISO 5167 est applicable uniquement aux tubes de Venturi utilisés dans les limites spécifiées de diamètre de conduite, de rugosité, de rapport des diamètres et de nombre de Reynolds, dans lesquels l'écoulement reste subsonique dans tout le tronçon de mesurage contenant un fluide pouvant être considéré comme monophasique. Elle n'est pas applicable au mesurage d'un écoulement pulsé. Elle ne couvre pas l'utilisation de tubes de Venturi dans des conduites de diamètre inférieur à 50 mm ou supérieur à 1 200 mm, ni les cas où les nombres de Reynolds rapportés à la tuyauterie sont inférieurs à 2×10^5 .

La présente partie de l'ISO 5167 traite de trois types de tubes de Venturi classiques:

- a) à convergent brut de fonderie;
- b) usiné;
- c) en tôle soudée brute.

Un tube de Venturi se compose d'un convergent d'entrée, relié à un col cylindrique qui est, à son tour, relié à un évasement de forme tronconique appelé «divergent». Les différences entre les valeurs de l'incertitude du coefficient de décharge pour les trois types de tube de Venturi classique indiquent, d'une part, le nombre de résultats disponibles pour chaque type de tube de Venturi classique et, d'autre part, la définition plus ou moins précise du profil géométrique. Les valeurs sont fondées sur des données recueillies il y a de nombreuses années. Les Venturi-tuyères (et d'autres tuyères) font l'objet de l'ISO 5167-3.

NOTE 1 Des recherches sur l'utilisation de tubes de Venturi avec du gaz à haute pression [≥ 1 MPa (≥ 10 bar)] sont actuellement en cours (voir les références [1], [2] et [3] dans la Bibliographie): dans de nombreux cas de tubes de Venturi à convergent usiné, on a trouvé des coefficients de décharge situés à 2 % ou plus hors de la gamme prévue par la norme. Pour une précision optimale, il convient d'étalonner dans du gaz les tubes de Venturi utilisés sur l'ensemble de la gamme de débit requise. L'utilisation de prises de pression individuelles (ou au plus de deux prises dans chaque plan) n'est pas inhabituelle dans du gaz à haute pression.

NOTE 2 Aux États-Unis, le tube de Venturi classique est parfois nommé «tube de Herschel».

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application 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 4006:1991, *Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées — Vocabulaire et symboles*

ISO 5167-1:2003, *Mesure 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, définitions et symboles

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

4 Principes de la méthode de mesurage et mode de calcul

Le principe de la méthode de mesurage consiste à interposer un tube de Venturi 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.

Le débit-masse, q_m , peut être déterminé à l'aide l'Équation (1):

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

ISO 5167-4:2003
standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bf7939df-3a77-484e-8c6c-e059e0c65763/iso-5167-4-2003

Les limites d'incertitude peuvent être calculées par la procédure indiquée à l'Article 8 de l'ISO 5167-1:2003.

De même, on peut calculer la valeur du débit-volume, q_V , sachant que

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

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

Le calcul du débit, qui est un procédé purement arithmétique, est effectué par le remplacement des différents termes situés à droite de l'Équation de base (1) par leur valeur numérique. Le Tableau A.1 donne les coefficients de détente ε des tubes de Venturi. Ils ne sont pas prévus pour une interpolation précise. L'extrapolation n'est pas permise.

Les diamètres d et D mentionnés dans les formules 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 Tubes de Venturi classiques

5.1 Domaine d'application

5.1.1 Généralités

Le domaine d'application des tubes de Venturi classiques traités dans la présente partie de l'ISO 5167 dépend de leur mode de construction.

Trois types de tubes de Venturi classiques normalisés sont définis selon la manière de réaliser la surface intérieure du cône d'entrée et l'arrondi à l'intersection du cône et du col. Ces trois modes de réalisation sont décrits en 5.1.2 à 5.1.4 et présentent des caractéristiques légèrement différentes.

Il existe des limites à la rugosité et au nombre de Reynolds pour chaque type devant être traité.

5.1.2 Tube de Venturi à convergent brut de fonderie

C'est un tube de Venturi classique coulé dans un moule en sable ou construit par toute autre méthode laissant un fini de surface du cône d'entrée semblable à celui obtenu par moulage en sable. Le col est usiné et les intersections entre les cylindres et les cônes sont arrondies.

Ce tube de Venturi classique peut être utilisé dans des conduites de 100 mm à 800 mm de diamètre et pour des rapports des diamètres β compris entre 0,3 et 0,75 inclus.

5.1.3 Tube de Venturi classique à convergent usiné

C'est un tube de Venturi classique coulé ou construit comme indiqué en 5.1.2, mais dont le cône d'entrée est usiné comme le col et le cylindre d'entrée. Les intersections entre les cylindres et les cônes peuvent être arrondies ou non.

[ISO 5167-4:2003](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bf7939df-3a77-484e-8e6c-55574a30377d/iso-5167-4-2003)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bf7939df-3a77-484e-8e6c-55574a30377d/iso-5167-4-2003>

Ce tube de Venturi classique peut être utilisé dans des conduites de 50 mm à 250 mm de diamètre et pour des rapports des diamètres β compris entre 0,4 et 0,75 inclus.

5.1.4 Tube de Venturi classique à convergent en tôle soudée brute

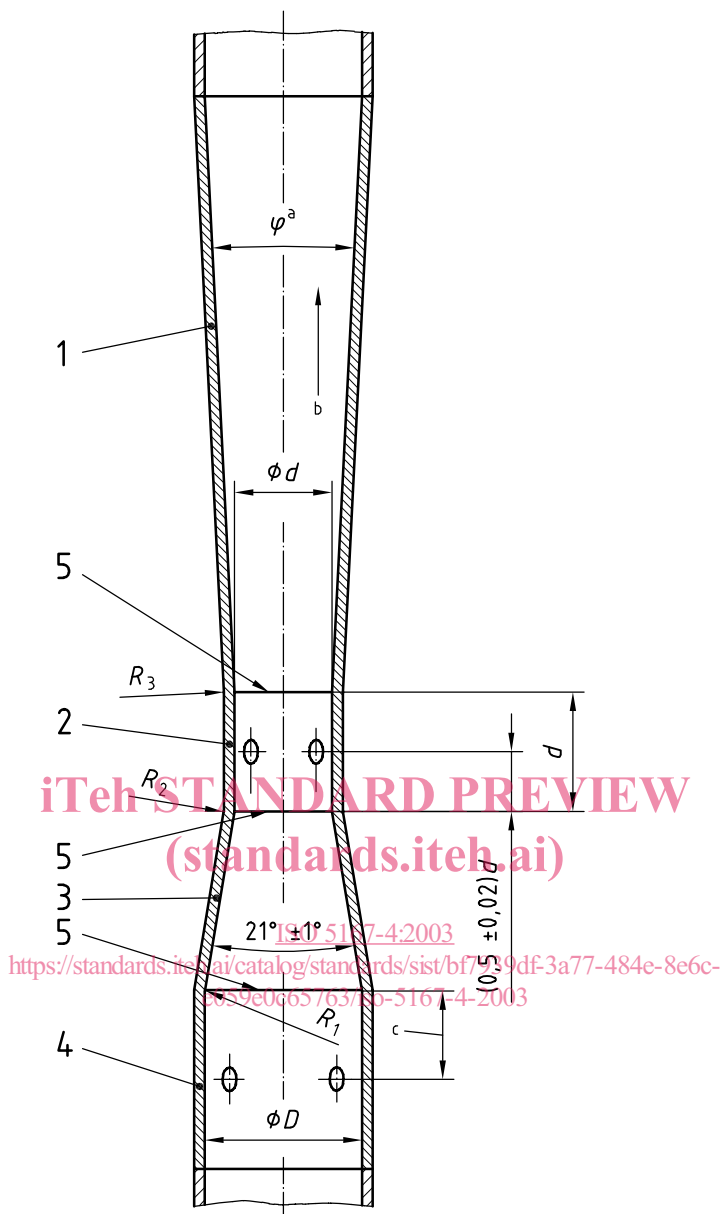
C'est un tube de Venturi classique qui est normalement fabriqué par soudage. Il peut ne pas être usiné pour les grandes dimensions si la tolérance requise en 5.2.4 peut être obtenue, mais le col est usiné pour les plus petites dimensions.

Ce tube de Venturi classique peut être utilisé dans des conduites de 200 mm à 1 200 mm de diamètre et pour des rapports des diamètres β compris entre 0,4 et 0,7 inclus.

5.2 Forme générale

5.2.1 La Figure 1 représente la coupe d'un tube de Venturi classique passant par l'axe du col. Les lettres dans le texte renvoient aux repères correspondants dans la Figure 1.

Le tube de Venturi classique se compose d'un cylindre d'entrée A suivi d'un convergent tronconique B, d'un col cylindrique C et d'un divergent tronconique E. La surface intérieure de l'appareil est cylindrique et de révolution autour de l'axe de la conduite. On peut juger de la coaxialité du convergent et du col cylindrique par simple examen visuel.



Légende

- 1 convergent tronconique E
- 2 col cylindrique C
- 3 convergent tronconique B
- 4 col cylindrique C
- 5 plans de raccordement

- a $7^\circ \leq \phi \leq 15^\circ$
- b Sens de l'écoulement
- c Voir 5.4.7

Figure 1 — Profil du tube de Venturi classique

5.2.2 La longueur minimale du cylindre, mesurée à partir du plan contenant l'intersection du tronc de cône B avec le cylindre A, peut varier avec le mode de construction (voir 5.2.8 à 5.2.10). Il est cependant recommandé de la choisir égale à D .

Le diamètre D du cylindre d'entrée doit être mesuré dans le plan des prises de pression amont. Il doit y avoir au moins autant de mesurages que de prises de pression (quatre au minimum).

Les diamètres doivent être mesurés au voisinage de chaque couple de prises de pression et également entre ces couples. La moyenne arithmétique de toutes ces mesures doit être prise comme valeur de D dans les calculs.

Ces diamètres doivent être également mesurés dans d'autres plans que celui des prises de pression.

Aucun diamètre du cylindre d'entrée ne doit différer de plus de 0,4 % de la valeur du diamètre moyen. Cette exigence est réputée satisfaite lorsque la différence de longueur de n'importe lequel des diamètres mesurés la satisfait par rapport à la moyenne arithmétique des diamètres mesurés.

5.2.3 Le convergent B doit être tronconique et avoir un angle au sommet de $21^\circ \pm 1^\circ$ pour tous les types de tubes de Venturi classiques. Il est délimité, en amont, par le plan contenant l'intersection du tronc de cône B avec le cylindre d'entrée A (ou de leurs prolongements) et, en aval, par le plan contenant l'intersection du tronc de cône B avec le col C (ou de leurs prolongements).

La longueur totale du convergent B, mesurée parallèlement à l'axe de révolution du tube de Venturi, est donc approximativement égale à $2,7(D - d)$.

Le convergent B est raccordé au cylindre d'entrée A par un congé de rayon R_1 , dont la valeur dépend du type du tube de Venturi classique.

(standards.iteh.ai)

Le profil du convergent doit être vérifié au gabarit. L'écart entre le gabarit et la partie tronconique du convergent ne doit dépasser en aucun point $0,004D$.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/bf7939df-3a77-484e-8c6c-e059e0097651/iso-5167-4:2003>

On admet que la surface intérieure de la partie tronconique du convergent est de révolution si deux diamètres situés dans un même plan perpendiculaire à l'axe de révolution ne diffèrent pas de plus de 0,4 % de la valeur du diamètre moyen.

On doit vérifier de la même façon que le congé de raccordement de rayon R_1 est de révolution.

5.2.4 Le col C, de diamètre d , doit être cylindrique. Il est délimité, en amont, par le plan contenant l'intersection du tronc de cône B avec le col C (ou de leurs prolongements) et, en aval, par le plan contenant l'intersection du col C avec le tronc de cône E (ou de leurs prolongements). La longueur du col C, c'est-à-dire la distance séparant ces deux plans, doit être égale à $d \pm 0,03d$, quel que soit le type du tube de Venturi classique.

Le col C est réuni au convergent B par un congé de rayon R_2 et au divergent E par un congé de rayon R_3 . Les valeurs de R_2 et R_3 dépendent du type du tube de Venturi classique.

Le diamètre d doit être mesuré très soigneusement dans le plan des prises de pression au col. Il doit y avoir au moins autant de mesurages que de prises de pression (quatre au minimum). Les diamètres doivent être mesurés au voisinage de chaque couple de prises de pression et également entre ces couples. La moyenne arithmétique de toutes ces mesures doit être prise comme valeur de d dans les calculs.

Ces diamètres doivent également être mesurés dans d'autres plans que celui des prises de pression.

Aucun diamètre du col ne doit différer de plus de 0,1 % de la valeur du diamètre moyen. Cette exigence est réputée satisfaite lorsque la différence de longueur de n'importe lequel des diamètres mesurés la satisfait par rapport à la moyenne arithmétique des diamètres mesurés.

Le col du tube de Venturi classique doit être usiné ou posséder, sur toute sa longueur, un état de surface équivalent à la rugosité indiquée en 5.2.7.

On doit vérifier que les congés de raccordement au col de rayon R_2 et R_3 sont de révolution comme indiqué en 5.2.3. Cette exigence est réputée satisfaite lorsque deux diamètres, situés dans un même plan perpendiculaire à l'axe de révolution, ne diffèrent pas de plus de 0,1 % du diamètre moyen.

La valeur des rayons de courbure R_2 et R_3 doit être vérifiée au gabarit.

L'écart entre le gabarit et le tube de Venturi classique doit évoluer de façon régulière pour chaque congé de sorte que l'écart maximal mesuré soit approximativement situé au milieu du profil du gabarit. La valeur de cet écart maximal ne doit pas dépasser $0,02d$.

5.2.5 Le divergent E doit être tronconique et peut avoir un angle au sommet, φ , compris entre 7° et 15° . Il est cependant recommandé de choisir un angle compris entre 7° et 8° . Son plus petit diamètre ne doit pas être inférieur au diamètre du col.

5.2.6 Un tube de Venturi classique est dit «tronqué» lorsque le diamètre de sortie du divergent est inférieur au diamètre D et «non tronqué» s'il lui est égal. On peut tronquer le divergent de 35 % environ de sa longueur sans modifier sensiblement la perte de pression de l'appareil ou son coefficient de décharge.

5.2.7 Le critère de rugosité, R_a , du col et celui du congé adjacent doit être aussi faible que possible et toujours inférieur à $10^{-4}d$. Le divergent est brut de fonderie. Sa surface interne doit être propre et lisse. D'autres parties du tube de Venturi classique ont des limites de rugosité spécifiées en fonction du type considéré.

5.2.8 Le profil du tube de Venturi classique à convergent brut de fonderie présente les particularités suivantes.

- La surface intérieure du convergent B est moulée au sable. Elle doit être exempte de craquelures, de fissures, de dépressions, d'irrégularités et d'impuretés. Le critère de rugosité R_a pour la surface doit être inférieur à $10^{-4}D$.
- La longueur minimale du cylindre d'entrée A doit être égale à la plus petite des deux grandeurs suivantes:
 - D , ou
 - $0,25D + 250$ mm (voir 5.2.2).
- La surface intérieure du cylindre d'entrée A peut rester brute de fonderie à condition qu'elle présente le même état de surface que le convergent B.
- Le rayon du congé R_1 doit être égal à $1,375D \pm 0,275D$.
- Le rayon du congé R_2 doit être égal à $3,625d \pm 0,125d$.
- La longueur de la partie cylindrique du col doit être au moins égale à $d/3$. De plus, la longueur de la partie cylindrique comprise entre la fin du congé R_2 et le plan des prises de pression, ainsi que la longueur de la partie cylindrique comprise entre le plan des prises de pression au col et le début du congé R_3 , doivent être au moins égales à $d/6$ (voir aussi 5.2.4 pour la longueur du col).
- Le rayon du congé R_3 doit être compris entre $5d$ et $15d$. Sa valeur doit augmenter lorsque l'angle du divergent diminue. Une valeur proche de $10d$ est recommandée.