

---

# Norme internationale



# 5221

---

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION • МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ • ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION

---

## Distribution et diffusion d'air — Règles pour la technique de mesure du débit d'air dans un conduit aéraulique

*Air distribution and air diffusion — Rules to methods of measuring air flow rate in an air handling duct*

Première édition — 1984-01-15

**STANDARD PREVIEW**  
(standards.iteh.ai)

[ISO 5221:1984](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eb3fdc3d-12f9-492d-a0d4-121427344a31/iso-5221-1984)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eb3fdc3d-12f9-492d-a0d4-121427344a31/iso-5221-1984>

---

CDU 697.922 : 533.6.08

Réf. n° : ISO 5221-1984 (F)

**Descripteurs** : distribution d'air, diffusion d'air, écoulement d'air, débit, mesurage de débit, conduit aéraulique, débitomètre, tube de Venturi, nombre de Reynolds, dimensions, tolérance de dimension, caractéristiques.

Prix basé sur 33 pages

## 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 confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique correspondant. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO, participent également aux travaux.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour approbation, avant leur acceptation comme Normes internationales par le Conseil de l'ISO.

La Norme internationale ISO 5221 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 144, *Distribution et diffusion d'air*, et a été soumise aux comités membres en juillet 1980.

Les comités membres des pays suivants l'ont approuvée :

Afrique du Sud, Rép. d'	France
Australie	Irlande
Autriche	Italie
Belgique	Norvège
Corée, Rép. de	Pologne
Finlande	Roumanie

Royaume-Uni  
Suède  
Tchécoslovaquie  
USA

Aucun comité membre de l'a désapprouvée.

## Sommaire

	Page
<b>0</b> Introduction .....	1
<b>1</b> Objet et domaine d'application .....	1
<b>2</b> Références .....	1
<b>3</b> Appareils de mesure proposés .....	2
<b>4</b> Formules générales de calcul .....	2
<b>5</b> Symboles et unités .....	3
<b>6</b> Conditions générales d'installation des divers appareils .....	3
<b>6.1</b> Appareils déprimogènes subsoniques (appareils 1 à 12) .....	3
<b>6.2</b> Venturi-tuyères à col sonique (appareils 13) .....	6
<b>6.3</b> Tubes de Pitot doubles (appareils 14) .....	6
<b>7</b> Caractéristiques et limitations d'emploi des divers appareils .....	6
<b>7.0</b> Caractéristiques communes aux appareils relevant des paragraphes 7.1, 7.2 et 7.3 .....	6
<b>7.1</b> Diaphragme à prises de pression dans les angles .....	11
<b>7.2</b> Diaphragme à prises de pression à la bride .....	11
<b>7.3</b> Diaphragme à prises de pression à $D$ et $D/2$ .....	11
<b>7.4</b> Tuyère ISA 1932 .....	12
<b>7.5</b> Tuyères à long rayon .....	14
<b>7.6</b> Tube de Venturi classique .....	16
<b>7.7</b> Venturi-tuyère .....	17
<b>7.8</b> Diaphragme à entrée conique .....	18
<b>7.9</b> Diaphragme quart de cercle .....	19
<b>7.10</b> Diaphragme à l'aspiration .....	21
<b>7.11</b> Tuyère à l'aspiration quart de cercle .....	22
<b>7.12</b> Buse conique à l'aspiration .....	23
<b>7.13</b> Venturi-tuyères à col sonique .....	24
<b>7.14</b> Tubes de Pitot doubles .....	26
<b>Annexe</b> .....	32
<b>Bibliographie</b> .....	33

Page blanche

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 5221:1984

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eb3fdc3d-12f9-492d-a0d4-121427344a31/iso-5221-1984>

# Distribution et diffusion d'air — Règles pour la technique de mesure du débit d'air dans un conduit aéraulique

## 0 Introduction

Les présentes règles résultent de plusieurs considérations particulières qu'il faut garder en mémoire :

- a) Le fluide est de l'air à température et pression voisines de celles de l'air dans les conditions ambiantes.
- b) Puisque les débits sont parfois relativement réduits, les nombres de Reynolds à considérer peuvent parfois correspondre à des valeurs relativement faibles (par exemple de l'ordre de quelques milliers).
- c) On doit rechercher, dans toute la mesure du possible, une grande liberté de choix afin de pouvoir disposer de méthodes applicables soit à des essais en laboratoire, soit à des essais sur le site.
- d) À ce jour, la précision des techniques de mesure de débit d'air dans un conduit a atteint un degré de qualité qui n'est pas toujours requis pour les besoins de la distribution et de la diffusion d'air.

C'est en tenant compte de ces diverses considérations qu'ont été établies les présentes règles, empruntées partiellement à certaines Normes internationales déjà publiées (voir chapitre 2) sans du reste en retenir toutes les spécifications, en raison même d'une exigence sensiblement réduite en matière d'incertitude ou de qualité d'écoulement : l'objectif poursuivi à ce sujet reste limité à  $\pm 2\%$ , voire même davantage pour certains appareils (voir 7.8 et 7.9).

Les valeurs indiquées pour l'incertitude des coefficients cités devraient être majorées pour l'incertitude du débit lui-même dans le cas de l'emploi de manomètres inappropriés.

Ajoutons enfin qu'il convient absolument de tenir compte du fait que les valeurs citées dans tout le document seraient gravement erronées si l'écoulement dans l'appareil de mesure n'était pas dénué de giration et si certains appareils de mesure présentés n'offraient eux-mêmes aucune garantie à ce sujet sans adjonction de dispositif approprié.

Dans le cas de faibles nombres de Reynolds et d'exigences réduites en matière d'incertitude, comme dans le cas de mesures de débits de fuite, des spécifications particulières sont données dans une annexe à la présente Norme internationale.

## 1 Objet et domaine d'application

La présente Norme internationale a pour but de rassembler différentes techniques de mesure du débit d'air dans un conduit aéraulique qui, sans nécessiter d'étalonnage, permettent de couvrir divers besoins spécifiques en matière de distribution et de diffusion d'air.

Dans la présente Norme internationale, on entend par «conduit aéraulique» un tronçon de conduit rectiligne étanche, tel que les conditions générales d'installation des appareils puissent être remplies. La forme de la section droite de ce tronçon sera circulaire, ou sinon rectangulaire dans le cas exclusif de l'emploi de l'appareil 14.

## 2 Références

ISO 3966, *Mesure du débit des fluides dans les conduites fermées — Méthode d'exploration du champ des vitesses au moyen de tubes de Pitot doubles.*

ISO 5167, *Mesure de débit des fluides au moyen de diaphragmes, tuyères et tubes de Venturi insérés dans des conduites en charge de section circulaire.*

### 3 Appareils de mesure proposés

La présente Norme internationale propose l'emploi de l'un des appareils suivants :

- 1) Diaphragme à prises de pression dans les angles (voir 7.0 et 7.1)
- 2) Diaphragme à prises de pression à la bride (voir 7.0 et 7.2)
- 3) Diaphragme à prises de pression à  $D$  et  $D/2$  (voir 7.0 et 7.3)
- 4) Tuyère ISA 1932 (voir 7.4)
- 5) Tuyère à long rayon (voir 7.5)
- 6) Tube de Venturi classique (voir 7.6)
- 7) Venturi-tuyère (voir 7.7)
- 8) Diaphragme à entrée conique (voir 7.8)
- 9) Diaphragme quart de cercle (voir 7.9)
- 10) Diaphragme à l'aspiration (voir 7.10)
- 11) Tuyère à l'aspiration quart de cercle (voir 7.11)
- 12) Buse conique à l'aspiration (voir 7.12)
- 13) Venturi-tuyère à col sonique (voir 7.13)
- 14) Tube de Pitot double (voir 7.14)

### 4 Formules générales de calcul

Ces appareils font appel à trois principes différents :

- a) pour les douze premiers appareils cités, la mesure du débit requiert la mesure d'une pression différentielle  $\Delta p$  entre l'amont et l'aval (ou le col) de l'appareil,
- b) pour le treizième appareil, l'air atteint au col une vitesse égale à la célérité du son et la mesure du débit requiert donc seulement la connaissance de l'état du fluide en amont de l'appareil,
- c) pour le quatorzième appareil, utilisé dans la méthode d'exploration du champ des vitesses, la pression différentielle mesurée en un certain nombre de points permet de déterminer la vitesse débitante par l'intermédiaire des vitesses locales correspondantes, et par conséquent, le débit.

Pour les dispositifs 1 à 12, la formule donnant le débit est :

$$q_m = \alpha \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \rho_1 \Delta p}$$

où

$q_m$  est le débit-masse;

$\alpha$  est le coefficient de débit;

$\varepsilon$  est le coefficient de détente;

$d$  est le diamètre de l'orifice ou du col;

$\rho_1$  est la masse volumique du fluide en amont du dispositif (section de la prise de pression amont);

$\Delta p$  est la pression différentielle entre les prises de pression amont et aval.

Pour le dispositif 13 (voir 7.13), la formule de base utilisée est :

$$q_m = K C \frac{\pi}{4} d^2 \frac{p_{am}}{\sqrt{\Theta_{am}}}$$

où

$K$  est une fonction relative à l'écoulement critique pour de l'air;

$C$  est le coefficient de décharge;

$p_{am}$  est la pression d'arrêt absolue dans l'espace libre en amont de l'appareil;

$\Theta_{am}$  est la température d'arrêt absolue dans cet espace libre.

Pour le dispositif 14 (voir 7.14), la formule de base utilisée pour le calcul de la vitesse locale est :

$$u = \alpha \varepsilon \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}}$$

où  $\varepsilon$  est le facteur de correction de la compressibilité qui peut être déterminé par la relation :

$$\varepsilon = \left[ 1 - \frac{1}{2\gamma} \frac{\Delta p}{p} + \frac{\gamma - 1}{6\gamma^2} \left( \frac{\Delta p}{p} \right)^2 \right]^{1/2}$$

dans laquelle

$\Delta p$  est la pression différentielle indiquée par le tube de Pitot;

$\rho$  est la masse volumique de l'air;

$p$  est la pression locale (pression absolue);

$\gamma$  est le rapport des chaleurs massiques;

$\alpha$  est le coefficient d'étalonnage du tube de Pitot.

Dans le cas d'air ambiant, on pourra s'en tenir à écrire :

$$\varepsilon = 1 - 0,18 \frac{\Delta p}{p}$$

D'une manière générale, le coefficient  $\alpha$  peut être pris égal à 1, valeur dont il ne diffère éventuellement dans les conditions mentionnées en 7.14 que de quelques millièmes au plus.

La vitesse débitante, c'est-à-dire le quotient du débit-volume de fluide à travers la section considérée par l'aire de celle-ci, peut alors être déterminée à partir des valeurs de la vitesse locale, soit par intégration graphique, soit par intégration numérique, soit par une méthode arithmétique. Le débit-volume est déduit aussitôt en effectuant le produit de la vitesse débitante par l'aire de la section.

## 5 Symboles et unités

Voir tableau 1.

## 6 Conditions générales d'installation des divers appareils

### 6.1 Appareils déprimogènes subsoniques (appareils 1 à 12)

Certains des appareils sont disposés entre deux longueurs droites de conduits, alors que d'autres tels que ceux des dispositifs 10, 11 et 12 se trouvent placés à l'extrémité amont d'un conduit. Cette dernière disposition a l'avantage de réduire sensiblement l'encombrement à prévoir pour réaliser la mesure du débit.

Tableau 1

Symbole	Grandeur	Dimen- sions <sup>1)</sup>	Unité SI corres- pondante	Symbole	Grandeur	Dimen- sions <sup>1)</sup>	Unité SI corres- pondante
$C$	Coefficient de décharge	—	—	$Re_D$	Nombre de Reynolds de l'écoulement rapporté à $D$ $Re_D = \frac{4q_m}{\pi \rho_1 D v}$	—	—
$c_p$	Chaleur massique à pression constante	$L^2 T^{-2} \Theta^{-1}$	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	$Re_d$	Nombre de Reynolds de l'écoulement rapporté à $d$ $Re_d = \frac{4q_m}{\pi \rho_1 d v}$	—	—
$c_v$	Chaleur massique à volume constant	$L^2 T^{-2} \Theta^{-1}$	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	$U$	Vitesse débitante	$L T^{-1}$	$m \cdot s^{-1}$
$d$	Diamètre de l'orifice ou du col de l'élément primaire dans les conditions d'emploi, ou diamètre de l'étrave du tube de Pitot	$L$	$m$	$u$	Vitesse locale du fluide (voir 7.14)	$L T^{-1}$	$m \cdot s^{-1}$
$D$	Diamètre du conduit de mesure en amont de l'élément primaire (ou diamètre amont d'un tube de Venturi classique), ou diamètre de la section de mesure circulaire du conduit, dans les conditions d'emploi	$L$	$m$	$\alpha$	Coefficient de débit pour les appareils 1 à 12 ou coefficient d'étalonnage pour l'appareil 14	—	—
$g$	Accélération due à la pesanteur	$L T^{-2}$	$m \cdot s^{-2}$	$\beta$	Rapport des diamètres $\beta = \frac{d}{D}$	—	—
$k$	Rugosité absolue	$L$	$m$	$\gamma$	Rapport des chaleurs massiques $\frac{c_p}{c_v}$	—	—
$l$	Longueur	$L$	$m$	$\varepsilon$	Coefficient de détente	—	—
$Ma$	Nombre de Mach local $Ma = \frac{u}{\sqrt{\frac{\kappa p}{\rho}}}$	—	—	$\Theta$	Température absolue du fluide	$\Theta$	$K$
$p$	Pression du fluide	$ML^{-1} T^{-2}$	$Pa$	$\kappa$	Exposant isentropique	—	—
$\Delta p$	Pression différentielle ( $\Delta p = p_1 - p_2$ )	$ML^{-1} T^{-2}$	$Pa$	$\mu$	Viscosité dynamique du fluide	$ML^{-1} T^{-1}$	$Pa \cdot s$
$q_m$	Débit-masse	$M T^{-1}$	$kg \cdot s^{-1}$	$\nu$	Viscosité cinématique du fluide	$L^2 T^{-1}$	$m^2 \cdot s^{-1}$
$q_v$	Débit-volume	$L^3 T^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	$\rho$	Masse volumique du fluide	$ML^{-3}$	$kg \cdot m^{-3}$
$R$	Rayon	$L$	$m$	$\varphi$	Angle au sommet du divergent d'un Venturi-tuyère	—	$^\circ$

Les indices 1 et 2 se rapportent respectivement aux conditions du fluide aux prises de pression amont et aval des appareils 1 à 12.

1) M = masse, L = longueur, T = temps,  $\Theta$  = température.

Il importe de noter que l'une des causes possibles d'erreurs sérieuses observables lors de l'emploi de tels appareils étant l'existence de giration dans l'écoulement à l'approche de ceux-ci, il est essentiel de se prémunir éventuellement contre de tels effets en ayant recours à des dispositifs antigiratoires appropriés (croisillon dans un conduit de section circulaire, de deux diamètres de long, à huit lames radiales; nid d'abeille; redresseur AMCA, etc.) disposés à une distance de l'appareil de mesure de débit telle que le profil des vitesses à l'approche de l'appareil de mesure soit proche de celui d'un écoulement établi.

**6.1.1 Appareils déprimogènes subsoniques noyés (appareils 1 à 7)<sup>1)</sup>**

Les appareils noyés dans le conduit exigent en effet de recourir à l'emploi de grandes longueurs droites de part et d'autre de l'appareil, ces longueurs étant plus grandes du reste lorsqu'une singularité adjacente provoque la giration de l'écoulement (exemple de coudes successifs non coplanaires). On observera

de plus que ces longueurs minimales nécessaires croissent avec le rapport de diamètres  $\beta$  de l'appareil.

Les tableaux 2 et 3 indiquent les longueurs droites minimales nécessaires entre divers accessoires situés en amont ou en aval des appareils subsoniques cités plus haut, exprimées en multiples du diamètre  $D$ .

**6.1.1.1** Si l'élément primaire est placé dans un conduit aérodynamique le reliant à une enceinte ouverte ou à un grand récipient situé en amont, soit directement, soit par l'intermédiaire d'accessoires, la longueur totale de conduit entre l'enceinte ouverte et l'élément primaire ne doit en aucun cas être inférieure à  $30 D$ .<sup>2)</sup>

S'il existe un accessoire, on doit en outre satisfaire aux longueurs droites données dans les tableaux 2 et 3 entre cet accessoire et l'élément primaire.

**Tableau 2 — Cas des diaphragmes, tuyères ou Venturi-tuyères**

Longueurs droites minimales nécessaires entre divers accessoires situés en amont ou en aval de l'élément primaire et l'élément primaire lui-même.

$\beta$	En amont de l'élément primaire				En aval	
	Coude simple à 90° ou té (débit par une seule branche)	Deux ou plus de deux coudes à 90° coplanaires	Deux ou plus de deux coudes à 90° dans des plans différents	Réduction (de $2 D$ à $D$ sur une longueur de $1,5 D$ à $3 D$ )	Évasement (de $0,5 D$ à $D$ sur une longueur de $1 D$ à $2 D$ )	Tous accessoires cités dans ce tableau
< 0,20	10 (6)	14 (7)	34 (17)	5 *	16 (8)	4 (2)
0,25	10 (6)	14 (7)	34 (17)	5 *	16 (8)	4 (2)
0,30	10 (6)	16 (8)	34 (17)	5 *	16 (8)	5 (2,5)
0,35	12 (6)	16 (8)	36 (18)	5 *	16 (8)	5 (2,5)
0,40	14 (7)	18 (9)	36 (18)	5 *	16 (8)	6 (3)
0,45	14 (7)	18 (9)	38 (19)	5 *	17 (9)	6 (3)
0,50	14 (7)	20 (10)	40 (20)	6 (5)	18 (9)	6 (3)
0,55	16 (8)	22 (11)	44 (22)	8 (5)	20 (10)	6 (3)
0,60	18 (9)	26 (13)	48 (24)	9 (5)	22 (11)	7 (3,5)
0,65	22 (11)	32 (16)	54 (27)	11 (6)	25 (13)	7 (3,5)
0,70	28 (14)	36 (18)	62 (31)	14 (7)	30 (15)	7 (3,5)
0,75	36 (18)	42 (21)	70 (35)	22 (11)	38 (19)	8 (4)
0,80	46 (23)	50 (25)	80 (40)	30 (15)	54 (27)	8 (4)

Accessoires	Longueur droite minimale nécessaire en amont
Brusque réduction symétrique de rapport de diamètres $> 0,5$	30 (15)
Poche à thermomètre de diamètre $< 0,03 D$	5 (3)
Poche à thermomètre de diamètre compris entre $0,03 D$ et $0,13 D$	20 (10)

\* Puisqu'aucun accessoire ne peut être placé à moins de  $5 D$  des prises de pression amont, la valeur pour une «erreur-limite supplémentaire nulle» est applicable à ce cas.

**NOTES**

- 1) Les valeurs sans parenthèses sont des valeurs pour «une erreur limite supplémentaire nulle». Les valeurs entre parenthèses sont des valeurs pour «une erreur limite supplémentaire de  $\pm 0,5 \%$ ».
- 2) Toutes les longueurs droites sont exprimées en multiples du diamètre  $D$ . Elles doivent être mesurées à partir de la face amont de l'élément primaire.

1) Voir ISO 5167, paragraphe 6.2.

2) En l'absence de données expérimentales, il a paru prudent d'adopter pour les tubes de Venturi classiques, les prescriptions exigées pour les diaphragmes et les tuyères.

Tableau 3 — Cas des tubes de Venturi classiques

Longueurs droites minimales nécessaires entre les divers accessoires situés en amont du tube de Venturi classique et le tube de Venturi classique lui-même.

Rapport des diamètres $\beta$	Coude simple à 90° à rayon court <sup>1)</sup>	Deux coudes ou plus à 90° dans le même plan <sup>1)</sup>	Deux coudes ou plus à 90° dans des plans différents <sup>1)2)</sup>	Réduction de 3 D à D sur une longueur de 3,5 D	Évasement de 0,75 D à D sur une longueur de D
0,30	0,5 <sup>3)</sup>	1,5 (0,5)	(0,5)	0,5 <sup>3)</sup>	1,5 (0,5)
0,35	0,5 <sup>3)</sup>	1,5 (0,5)	(0,5)	1,5 (0,5)	1,5 (0,5)
0,40	0,5 <sup>3)</sup>	1,5 (0,5)	(0,5)	2,5 (0,5)	1,5 (0,5)
0,45	1,0 (0,5)	1,5 (0,5)	(0,5)	4,5 (0,5)	2,5 (1)
0,50	1,5 (0,5)	2,5 (1,5)	(8,5)	5,5 (0,5)	2,5 (1,5)
0,55	2,5 (0,5)	2,5 (1,5)	(12,5)	6,5 (0,5)	3,5 (1,5)
0,60	3,0 (1,0)	3,5 (2,5)	(17,5)	8,5 (0,5)	3,5 (1,5)
0,65	4,0 (1,5)	4,5 (2,5)	(23,5)	9,5 (1,5)	4,5 (2,5)
0,70	4,0 (2,0)	4,5 (2,5)	(27,5)	10,5 (2,5)	5,5 (3,5)
0,75	4,5 (3,0)	4,5 (3,5)	(29,5)	11,5 (3,5)	6,5 (4,5)

1) Le rayon intérieur de courbure du coude doit être égal ou supérieur au diamètre du conduit.

2) Comme l'effet de ces accessoires peut se faire sentir au-delà de 40 D, il ne peut être donné, dans le tableau, de valeurs sans parenthèses.

3) Puisqu'aucun accessoire ne peut être placé à moins de 0,5 D des prises de pression amont du tube de Venturi, la valeur pour une «erreur limite supplémentaire nulle» est applicable à ce cas.

## NOTES

1 Les valeurs sans parenthèses sont des valeurs pour une «erreur limite supplémentaire nulle». Les valeurs entre parenthèses sont des valeurs pour «une erreur limite supplémentaire  $\pm 0,5\%$ ».

2 Toutes les longueurs droites sont exprimées en multiples du diamètre D. Elles doivent être mesurées à partir du plan des prises de pression amont du tube de Venturi classique. La rugosité du conduit, au moins pour la longueur donnée par le tableau précédent, ne devra pas dépasser celle d'un conduit lisse du commerce (approximativement  $\frac{k}{D} \leq 10^{-3}$ ).

3 Longueurs droites à l'aval : les accessoires ou obstacles (indiqués dans le tableau 3) situés en aval au moins à quatre fois le diamètre du col à partir du plan des prises de pression au col, n'affectent pas la justesse des mesures.

**6.1.1.2** Si plusieurs accessoires autres que des coudes à 90° se succèdent en amont de l'élément primaire, on doit appliquer la règle suivante : entre l'accessoire (1) le plus rapproché de l'élément primaire et l'élément primaire lui-même, maintenir une longueur droite minimale telle qu'elle est indiquée pour l'accessoire (1) en question et la valeur réelle de  $\beta$  dans les tableaux 2 et 3. Mais, de plus, maintenir entre cet accessoire (1) et l'accessoire (2) qui le précède, une longueur droite égale à la moitié de la valeur indiquée dans les tableaux 2 et 3 pour l'accessoire (2) applicable à un élément primaire de rapport des diamètres  $\beta = 0,7$ , quelle que soit la valeur réelle de  $\beta$ . Cette règle ne s'applique pas lorsque l'accessoire (2) est une brusque réduction symétrique, lequel cas est traité dans l'alinéa ci-dessus.<sup>1)</sup>

Si l'une des longueurs droites minimales ainsi retenues est une valeur entre parenthèses, on doit ajouter l'erreur limite supplémentaire de  $\pm 0,5\%$  à l'erreur sur le coefficient de débit.

**6.1.1.3** Chacune des sections de mesure de la pression comporte au moins une prise de pression. L'axe de perçage de cette

dernière doit être perpendiculaire à l'axe du conduit et le bord du trou doit être à angle vif et sans bavure. La dimension des prises autres que celles dans les angles doit être telle que leur diamètre reste de toute manière inférieur à 0,08 fois le diamètre du conduit D et de préférence inférieur à 12 mm. Pour les prises dans les angles, on peut utiliser, soit des prises individuelles dont le diamètre reste compris entre 1 et 10 mm, tout en restant compris entre 0,005 D et 0,03 D si  $\beta < 0,65$  et entre 0,01 D et 0,02 D si  $\beta > 0,65$ , soit des fentes annulaires.

**6.1.1.4** Les fentes annulaires débouchent habituellement sur tout leur périmètre, sans discontinuité. S'il n'en est pas ainsi, chaque chambre annulaire communique avec l'intérieur du conduit par des ouvertures dont les axes font entre eux des angles égaux, en nombre au moins égal à quatre, et dont la surface d'ouverture individuelle est au moins égale à 12 mm<sup>2</sup>.

**6.1.1.5** Les prises de pression doivent présenter un tronçon cylindrique sur une longueur d'au moins 2,5 fois leur diamètre intérieur compté à partir de la surface intérieure du conduit.

1) Dans le cas de plusieurs coudes à 90°, se reporter aux tableaux 2 et 3 qui peuvent s'appliquer quelle que soit la longueur entre deux coudes consécutifs.

## 6.2 Venturi-tuyères à col sonique (appareils 13)

Il suffit dans ces appareils de mesurer la pression et la température absolues dans la chambre de diamètre  $D$  au moins égal à 3 fois le diamètre du col  $d$  et de contrôler que le rapport des pressions absolues en aval et en amont de l'appareil ne dépasse pas une valeur critique (voir 7.13). S'il existe des fluctuations de pression sensibles à l'aval de l'appareil, la mesure du débit et sa grandeur n'en sont pas tributaires et la connaissance de la nature et de l'état amont du fluide est suffisante pour effectuer la mesure du débit lorsque la dimension du col est bien connue.

On doit disposer l'appareil dans le conduit, de telle manière que l'écoulement soit exempt de giration juste à l'amont de l'appareil.

## 6.3 Tubes de Pitot doubles (appareils 14)

La section choisie pour effectuer les mesures doit être située dans une longueur droite et perpendiculaire à l'axe du conduit. Elle doit être de forme simple, par exemple, soit circulaire, soit rectangulaire.

Elle doit être située dans une zone où les vitesses mesurées se situent dans la gamme normale d'utilisation de l'appareillage employé.

Au voisinage de la section de mesure, l'écoulement doit être sensiblement parallèle à l'axe du conduit (angle généralement inférieur à  $5^\circ$ ), et ne doit présenter ni turbulence excessive, ni rotation. La section de mesure doit donc être choisie suffisamment éloignée de toute singularité qui pourrait créer une dissymétrie, une rotation ou de la turbulence qui pourraient fausser gravement les indications données par le tube de Pitot double disposé parallèlement (à mieux que  $5^\circ$  près) à l'axe du conduit.

La longueur droite qui peut être nécessaire pour satisfaire ces conditions varie avec la vitesse de l'écoulement, les singularités amont, le niveau de turbulence et le degré de giration, s'il en existe.

## 7 Caractéristiques et limitations d'emploi des divers appareils

### 7.0 Caractéristiques communes aux appareils relevant des paragraphes 7.1, 7.2 et 7.3

La plaque du diaphragme est conforme au dessin de la figure 1.

Les principales spécifications concernant la plaque sont :

- Face amont plane, de rugosité (hauteur totale) inférieure à  $0,000\ 3\ d$  à l'intérieur d'un cercle de diamètre  $1,5\ d$  concentrique à l'orifice.
- Face aval plane parallèle à la face amont.
- $e < E < 0,05\ D$   
( $0,005\ D < e < 0,02\ D$ )
- $30^\circ < F < 45^\circ$
- Si  $E < 0,02\ D$ , chanfreinage non obligatoire.

— Arête amont G vive.

— Détermination de  $d$  comme moyenne des mesures d'au moins quatre diamètres répartis angulairement (aucune des quatre mesures ne différant de la moyenne de plus de  $5 \times 10^{-4}\ d$ ).

La plaque du diaphragme décrite ci-dessus peut être associée à l'un des trois types de prises de pression mentionnées aux paragraphes 7.1, 7.2 et 7.3.

On se reportera à l'ISO 5167 pour les spécifications relatives aux prises de pression.

Les conditions d'emploi des trois types de diaphragmes sont :

$$0,012\ 5\ m < d$$

$$0,050\ m < D$$

$$0,20 < \beta < 0,75$$

$$\frac{k}{D} < 10^{-3}$$

$$\frac{\Delta p}{p_1} < 0,25$$

Le nombre de Reynolds  $Re_D$  doit être supérieur ou égal à une valeur minimale de  $1,26 \times 10^6 \beta^2 D$ .

Le coefficient de débit  $\alpha$  est donné par la formule de Stolz :

$$\alpha = \alpha_\infty + 0,002\ 9 (1 - \beta^4)^{-0,5} \beta^{2,5} \left( \frac{10^6}{Re_D} \right)^{0,75}$$

où

$$\alpha_\infty = (1 - \beta^4)^{-0,5} [0,595\ 9 + 0,031\ 2\ \beta^{2,1} - 0,184\ 0\ \beta^8 + 0,090\ 0\ l_1 D^{-1} \beta^4 (1 - \beta^4)^{-1} - 0,033\ 7\ l_2 D^{-1} \beta^3]$$

dans laquelle

$l_1$  est la distance de la prise de pression amont à la face amont du diaphragme;

$l_2$  est la distance de la prise de pression aval à la face aval du diaphragme.

NOTE — Lorsque

$$0,050\ m < D < \frac{2,286}{39} m (\approx 0,059\ m)$$

le terme

$$(1 - \beta^4)^{-0,5} [0,090\ 0\ l_1 D^{-1} \beta^4 (1 - \beta^4)^{-1}]$$

est à remplacer par

$$(1 - \beta^4)^{-0,5} [0,039\ 0\ \beta^4 (1 - \beta^4)^{-1}]$$

Le tableau 4 donne des valeurs du coefficient  $\alpha_\infty$  et de  $2,9 (1 - \beta^4)^{-0,5} \beta^{2,5}$  pour un ensemble de valeurs de  $\beta$  et de  $D$ .

Du fait de l'arrondissement à  $10^{-3}$  près des valeurs de  $\alpha_\infty$ , il est admissible d'interpoler linéairement entre deux valeurs successives de  $\beta$ .

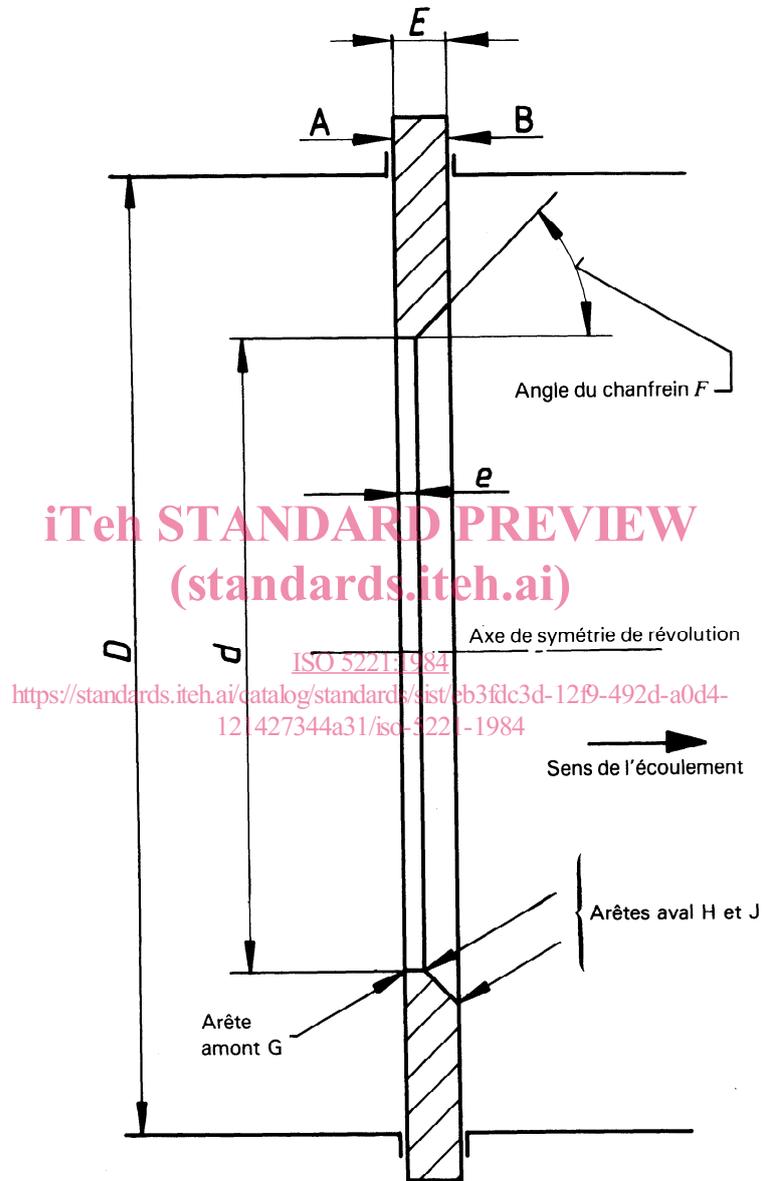


Figure 1 – Plaque de diaphragme

Tableau 4 – Valeurs du coefficient  $\alpha_\infty$  et de  $2,9 (1 - \beta^4)^{-0,5} \beta^{2,5}$  pour les diaphragmes en fonction de  $\beta$  et de  $D$

$\beta$	Prises dans les angles	Prises à la bride							Prises à $D$ et $\frac{D}{2}$	$2,9 (1 - \beta^4)^{-0,5} \beta^{2,5}$
	$D = \infty$	$D = 0,600$	$D = 0,400$	$D = 0,200$	$D = 0,150$	$D = 0,100$	$D = 0,060$	$D = 0,050$		
0,20	0,597	0,597	0,597	0,597	0,597	0,597	0,597	0,597	0,597	0,052
0,25	0,599	0,599	0,599	0,599	0,599	0,599	0,599	0,599	0,599	0,091
0,30	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,144
0,32	0,602	0,602	0,602	0,602	0,602	0,602	0,602	0,602	0,602	0,169
0,34	0,603	0,603	0,603	0,603	0,603	0,603	0,603	0,603	0,603	0,197
0,36	0,605	0,605	0,605	0,605	0,605	0,605	0,605	0,604	0,605	0,227
0,38	0,606	0,606	0,606	0,606	0,606	0,606	0,606	0,606	0,606	0,261
0,40	0,608	0,608	0,608	0,608	0,608	0,608	0,608	0,608	0,608	0,297
0,41	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609	0,317
0,42	0,610	0,610	0,610	0,610	0,610	0,610	0,611	0,610	0,610	0,337
0,43	0,612	0,612	0,612	0,612	0,612	0,612	0,612	0,612	0,612	0,358
0,44	0,613	0,613	0,613	0,613	0,613	0,613	0,613	0,613	0,613	0,380
0,45	0,614	0,614	0,614	0,614	0,614	0,614	0,614	0,614	0,614	0,402
0,46	0,616	0,616	0,616	0,616	0,616	0,616	0,616	0,616	0,616	0,426
0,47	0,617	0,617	0,617	0,617	0,617	0,617	0,618	0,617	0,617	0,450
0,48	0,619	0,619	0,619	0,619	0,619	0,619	0,619	0,619	0,619	0,476
0,49	0,620	0,620	0,621	0,621	0,621	0,621	0,621	0,621	0,621	0,502
0,50	0,622	0,622	0,622	0,622	0,623	0,623	0,623	0,623	0,623	0,530
0,51	0,624	0,624	0,624	0,624	0,624	0,625	0,625	0,625	0,625	0,558
0,52	0,626	0,626	0,626	0,626	0,626	0,627	0,627	0,627	0,627	0,587
0,53	0,628	0,628	0,628	0,628	0,629	0,629	0,629	0,629	0,629	0,618
0,54	0,631	0,631	0,631	0,631	0,631	0,631	0,632	0,631	0,632	0,650
0,55	0,633	0,633	0,633	0,633	0,634	0,634	0,634	0,634	0,634	0,683
0,56	0,635	0,636	0,636	0,636	0,636	0,636	0,637	0,637	0,637	0,717
0,57	0,638	0,638	0,638	0,639	0,639	0,639	0,640	0,640	0,640	0,752
0,58	0,641	0,641	0,641	0,641	0,642	0,642	0,643	0,643	0,643	0,789
0,59	0,644	0,644	0,644	0,645	0,645	0,645	0,646	0,646	0,646	0,827
0,60	0,647	0,647	0,647	0,648	0,649	0,649	0,650	0,649	0,649	0,867
0,61	0,650	0,650	0,651	0,651	0,651	0,652	0,653	0,653	0,653	0,908
0,62	0,654	0,654	0,654	0,655	0,655	0,656	0,657	0,656	0,657	0,951
0,63	0,657	0,658	0,658	0,658	0,659	0,659	0,661	0,660	0,661	0,995
0,64	0,661	0,661	0,662	0,662	0,663	0,664	0,665	0,665	0,665	1,042
0,65	0,665	0,665	0,666	0,666	0,667	0,668	0,670	0,669	0,669	1,090
0,66	0,669	0,670	0,670	0,671	0,671	0,672	0,674	0,674	0,674	1,140
0,67	0,674	0,674	0,674	0,675	0,676	0,677	0,680	0,679	0,679	1,193
0,68	0,678	0,679	0,679	0,680	0,681	0,682	0,685	0,684	0,685	1,247
0,69	0,683	0,684	0,684	0,685	0,686	0,688	0,691	0,690	0,690	1,304
0,70	0,688	0,689	0,690	0,691	0,692	0,693	0,697	0,696	0,696	1,337
0,71	0,694	0,695	0,695	0,697	0,697	0,699	0,703	0,702	0,703	1,426
0,72	0,700	0,701	0,701	0,703	0,704	0,706	0,710	0,709	0,709	1,492
0,73	0,706	0,707	0,707	0,709	0,710	0,713	0,717	0,716	0,717	1,560
0,74	0,712	0,713	0,714	0,716	0,717	0,720	0,725	0,724	0,725	1,633
0,75	0,719	0,720	0,721	0,723	0,725	0,728	0,733	0,732	0,733	1,709

Le coefficient de détente  $\varepsilon$  est calculé à partir de la formule empirique

$$\varepsilon = 1 - (0,41 + 0,35 \beta^4) \frac{\Delta p}{\kappa p_1}$$

La figure 2 donne le coefficient de détente  $\varepsilon$  pour  $\kappa = 1,4$ .