
**Mesurage du débit des fluides dans
les conduites fermées — Méthode
d'exploration du champ des vitesses
au moyen de tubes de Pitot doubles**

*Measurement of fluid flow in closed conduits — Velocity area method
using Pitot static tubes*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 3966:2020](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/487c72f8-306a-4dd6-a734-c275e6578d39/iso-3966-2020)

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/487c72f8-306a-4dd6-a734-
c275e6578d39/iso-3966-2020](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/487c72f8-306a-4dd6-a734-c275e6578d39/iso-3966-2020)



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 3966:2020

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/487c72f8-306a-4dd6-a734-c275e6578d39/iso-3966-2020>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2020

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office

Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8

CH-1214 Vernier, Genève

Tél.: +41 22 749 01 11

E-mail: copyright@iso.org

Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
3.1 Termes et définitions.....	1
3.2 Symboles.....	2
4 Spécifications	3
4.1 Principe général.....	3
4.1.1 Intégration graphique du champ des vitesses (voir Article 9).....	4
4.1.2 Intégration numérique du champ des vitesses (voir Article 10).....	4
4.1.3 Méthodes arithmétiques (voir Article 11).....	4
4.2 Mesurage de la section de mesure.....	4
4.2.1 Sections circulaires.....	4
4.2.2 Sections rectangulaires.....	5
4.3 Mesurage des vitesses locales.....	5
4.3.1 Méthode d'exploration de la section de mesure.....	5
4.3.2 Mesurage de référence.....	5
4.3.3 Contrôle de la distribution des vitesses.....	6
4.4 Emplacement et nombre de points de mesure dans la section.....	6
4.4.1 Exigences générales.....	6
4.4.2 Sections circulaires.....	6
4.4.3 Sections rectangulaires.....	7
5 Conception des tubes de Pitot	7
5.1 Description générale.....	7
5.2 Critères devant être remplis par le tube de Pitot.....	7
6 Exigences relatives à l'utilisation des tubes de Pitot	8
6.1 Choix de la section de mesure.....	8
6.1.1 Emplacement de la section de mesure (de sélection).....	8
6.1.2 Prévention de la dissymétrie, de la giration et de la turbulence.....	8
6.1.3 Déviation maximale de l'écoulement.....	9
6.1.4 Explorations préliminaires.....	9
6.2 Dispositifs d'amélioration des conditions d'écoulement.....	9
6.2.1 Dispositif anti-giratoire.....	9
6.2.2 Égalisateur de profil.....	9
6.2.3 Positionnement/Emplacement des dispositifs.....	9
6.2.4 Installation provisoire de guidage.....	10
6.3 Limites d'utilisation.....	10
6.3.1 Nature du fluide.....	10
6.3.2 Plage de vitesses.....	10
6.3.3 Nature de l'écoulement.....	10
6.3.4 Limitations dimensionnelles.....	10
6.3.5 Influence de la turbulence.....	10
6.4 Exécution des mesurages.....	11
6.4.1 Mesurage de la pression différentielle.....	11
6.4.2 Fluctuations de la pression différentielle.....	11
6.4.3 Détermination de la masse volumique du fluide.....	11
6.5 Contrôle et entretien du tube de Pitot.....	11
7 Positionnement du tube de Pitot	12
8 Calcul de la vitesse	12
8.1 Vérification des conditions de mesure.....	12
8.2 Formules de calcul de la vitesse.....	13

9	Détermination de la vitesse débitante par intégration graphique du champ des vitesses	14
9.1	Section circulaire	14
9.2	Sections rectangulaires	16
10	Détermination de la vitesse débitante par intégration numérique du champ des vitesses	17
10.1	Sections circulaires	18
10.2	Sections rectangulaires	20
11	Détermination de la vitesse débitante par des méthodes arithmétiques	20
11.1	Méthode «log-linéaire»	21
11.1.1	Sections circulaires	21
11.1.2	Sections rectangulaires	21
11.2	Méthode «log-Chebyshev»	22
11.2.1	Sections circulaires	22
11.2.2	Sections rectangulaires	23
12	Corrections des mesures des vitesses locales	24
12.1	Correction de l'obstruction causée par la hampe	24
12.1.1	Cas où la correction peut être négligée	24
12.1.2	Estimation de la correction des mesures des vitesses locales	24
12.1.3	Estimation de la correction globale de la valeur du débit (applicable aux méthodes arithmétiques)	26
12.2	Correction du gradient transversal de vitesse	26
12.2.1	Correction de la position des points de mesure	27
12.2.2	Correction globale du débit	27
12.3	Correction de la turbulence	28
12.4	Correction de la perte de charge	29
13	Erreurs	29
13.1	Définition de l'erreur	29
13.2	Erreurs sur l'estimation de la vitesse locale	29
13.2.1	Erreurs aléatoires	29
13.2.2	Erreurs systématiques	30
13.3	Erreurs sur l'estimation du débit	31
13.3.1	Erreurs aléatoires	31
13.3.2	Erreurs systématiques	31
13.4	Définition de l'écart-type	32
13.5	Définition de la tolérance	32
13.6	Calcul de l'écart-type	33
13.6.1	Écart-type sur la mesure de la vitesse locale	33
13.6.2	Écart-type sur la mesure de débit	34
	Annexe A (normative) Tubes de Pitot	35
	Annexe B (normative) Correction de la position de mesure de tubes de Pitot utilisés dans un écoulement à gradient transversal de vitesse	41
	Annexe C (normative) Étude concernant la correction de la turbulence	43
	Annexe D (normative) Amortissement des manomètres	46
	Annexe E (normative) Mesurages avec un tube de Pitot dans un fluide compressible	48
	Annexe F (normative) Détermination du coefficient m pour l'extrapolation au voisinage de la paroi	52
	Annexe G (informative) Exemple de calcul de l'incertitude de mesure du débit à l'aide de tubes de Pitot	53
	Bibliographie	56

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 reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir www.iso.org/avant-propos.

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 5, *Méthodes de vitesse et massiques*.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition (ISO 3966:2008), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- toutes les formules mathématiques ont été numérotées;
- la [Formule 4](#) essentielle $\Delta\rho/p$ a été remplacée par $\Delta p/p$;
- le [Tableau 2](#) correspondant a été corrigé en conséquence;
- la dernière phrase en [8.2](#) «pour les valeurs sélectionnées de g et $\Delta\rho/p$» a été corrigée en conséquence;
- en [11.2.2](#), dans le 2^e alinéa, ef a été remplacé par e ou f .
- la [Figure A.5](#) a fait l'objet d'une modification rédactionnelle, le quadrillage millimétré a été supprimé.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse www.iso.org/fr/members.html.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 3966:2020

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/487c72f8-306a-4dd6-a734-c275e6578d39/iso-3966-2020>

Mesurage du débit des fluides dans les conduites fermées — Méthode d'exploration du champ des vitesses au moyen de tubes de Pitot doubles

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie une méthode de détermination du débit-volume d'un écoulement régulier dans une conduite fermée

- a) d'un fluide de masse volumique sensiblement constante ou correspondant à un nombre de Mach inférieur ou égal à 0,25;
- b) dont la température d'arrêt est sensiblement uniforme dans toute la section de mesure;
- c) remplissant complètement la conduite; et
- d) en régime permanent.

Il traite en particulier de la technologie et de l'entretien des tubes de Pitot doubles, du calcul des vitesses locales à partir des pressions différentielles mesurées et du calcul du débit par intégration de ces vitesses.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

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. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 2186, *Débit des fluides dans les conduites fermées — Liaisons pour la transmission du signal de pression entre les éléments primaires et secondaires*

3 Termes et définitions

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>

3.1.1

tube de Pitot double

«tube de Pitot»

appareil tubulaire constitué d'une antenne cylindrique fixée perpendiculairement à une hampe permettant de mesurer une pression différentielle à partir de laquelle le débit du fluide dans lequel il est inséré peut être déterminé, et muni d'orifices de prise de pression statique (percés toute autour de l'antenne sur une ou plusieurs sections) et d'un orifice de prise de pression totale (situé face à la direction d'écoulement au bout de l'étrave axi-symétrique de l'antenne)

3.1.2

prise de pression statique

ensemble des orifices destinés à mesurer la pression statique du fluide

3.1.3

prise de pression totale

orifice permettant de mesurer la pression d'arrêt du fluide (pression correspondant à celle obtenue en amenant le fluide au repos sans variation d'entropie)

3.1.4

pression différentielle

différence de pression entre les prises de pression totale et statique

3.1.5

batterie fixe

ensemble de tubes de Pitot, montés sur un ou plusieurs supports fixes, qui explorent simultanément tout le diamètre ou toute la section de mesure

3.1.6

débit pariétal

débit-volume qui s'écoule dans la zone située entre la paroi de la conduite et le contour défini par les points de mesure de la vitesse les plus proches de la paroi

3.1.7

vitesse débitante

rapport du débit-volume (intégrale de la composante axiale des vitesses locales par rapport à l'aire de la section transversale) à l'aire de la section de mesure

3.1.8

vitesse relative

rapport de la vitesse d'écoulement au point considéré à une vitesse de référence mesurée au même moment, celle-ci pouvant être soit la vitesse en un point particulier (par exemple, au centre d'une conduite circulaire) soit la vitesse débitante dans la section de mesure

3.1.9

longueur droite

tronçon de conduite dont l'axe est rectiligne et dont la surface et la section sont constantes

Note 1 à l'article: La forme de cette section est habituellement circulaire, mais peut être rectangulaire ou annulaire.

3.1.10

singularité

tout élément ou toute configuration d'une conduite qui fait que cette conduite n'est pas une longueur droite

Note 1 à l'article: Pour les besoins du présent document, les singularités qui créent les perturbations les plus importantes sont les coudes, les robinets, les vannes et les élargissements brusques de la section.

3.2 Symboles

Symbole	Grandeur	Dimensions	Unité SI
A	aire de la section transversale de la conduite	L^2	m^2
a, a'	distance du point de mesure extrême à la paroi la plus proche	L	m
D	diamètre de la conduite	L	m
d	diamètre de l'antenne	L	m
d'	diamètre de la hampe	L	m
d_i	diamètre de l'orifice de la prise de pression totale	L	m
H	hauteur de la conduite rectangulaire	L	m

Symbole	Grandeur	Dimensions	Unité SI
h	hauteur d'un point particulier à partir du bas	L	m
k_b	coefficient d'obstruction d'une hampe cylindrique	—	—
k_g	coefficient en fonction de la forme de l'étrave	—	—
k_t	coefficient de correction de turbulence	—	—
L	largeur de la conduite rectangulaire	L	m
l	distance d'un point particulier à la paroi latérale	L	m
M	masse molaire du fluide	M	kg/mol
m	coefficient de rugosité	—	—
Ma	nombre de Mach	—	—
p	pression statique absolue du fluide	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
q_V	débit-volume	L^3T^{-1}	m^3/s
R_g	constante molaire du gaz	$ML^2T^{-1}\theta^{-1}$	J/mol·K
R	rayon de la conduite	L	m
r	rayon du cercle de mesure	L	m
Re	nombre de Reynolds	—	—
S	surface projetée frontale de la hampe à l'intérieur de la conduite	L^2	m^2
T	température absolue	θ	K
U	vitesse débitante	LT^{-1}	m/s
u	vitesse moyenne sur une circonférence ou sur une ligne de mesure	LT^{-1}	m/s
v	vitesse locale du fluide	LT^{-1}	m/s
X	dimensions de la conduite	L	m
y	distance du point de mesure à la paroi	L	m
Z	coefficient de compressibilité du gaz	—	—
α	coefficient d'étalonnage du tube de Pitot	—	—
γ	rapport des capacités thermiques massiques	—	—
Δp	pression différentielle mesurée par le tube de Pitot	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
ε	coefficient de détente	—	—
$(1 - \varepsilon)$	coefficient de correction de compressibilité	—	—
λ	coefficient universel de perte de charge	—	—
μ	viscosité dynamique du fluide	$ML^{-1}T^{-1}$	Pa·s
ν_{kv}	viscosité cinématique du fluide	L^2T^{-1}	m^2/s
ξ	perte de charge	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
ρ	masse volumique du fluide	ML^{-3}	kg/m^3
φ	inclinaison du tube de Pitot	—	—

4 Spécifications

4.1 Principe général

Le principe de la méthode consiste:

- à mesurer les dimensions de la section de mesure, qui doit être perpendiculaire à l'axe de la conduite — cette mesure est nécessaire pour définir l'aire de la section (voir 4.2);
- à définir la position des points de mesure dans la section, le nombre de points de mesure devant être suffisant pour permettre la détermination adéquate du profil des vitesses;

- c) à mesurer la pression différentielle entre les prises de pression totale et statique du tube de Pitot placé en ces points de mesure (voir [4.3](#)) et à déterminer la masse volumique du fluide dans les conditions d'essai;
- d) à déterminer la vitesse locale de l'écoulement, à partir des formules données, sur la base des mesures précédentes (voir [Article 8](#));
- e) à déterminer la vitesse débitante d'après ces valeurs;
- f) à calculer le débit-volume de l'écoulement égal au produit de l'aire de la section transversale et de la vitesse débitante.

Les erreurs sur les méthodes décrites en a) à f) contribuent à l'erreur sur la mesure du débit; d'autres sources d'erreur (telles que la forme de la distribution des vitesses et le nombre de points de mesure) sont détaillées à l'[Article 13](#).

La méthode de mesure et les exigences définies dans le présent document visent à atteindre, au niveau de confiance de 95 %, une incertitude de mesure du débit n'excédant pas ± 2 %. Pour atteindre ce résultat, il peut être nécessaire, selon les conditions de mesure, de tenir compte des corrections indiquées à l'[Article 12](#). Si l'une des exigences du présent document n'est pas remplie, cette méthode peut toujours être appliquée dans des cas particuliers, mais l'incertitude de mesure du débit sera plus élevée.

Le présent document présente trois types de méthodes de détermination de la vitesse débitante.

4.1.1 Intégration graphique du champ des vitesses (voir [Article 9](#))

Cette méthode consiste à tracer sur un graphique le profil des vitesses et à évaluer l'aire sous la courbe qui est limitée par les points de mesure les plus proches de la paroi. À la valeur ainsi obtenue est ajouté un terme calculé qui tient compte de l'écoulement dans la zone pariétale (l'aire entre la paroi et la courbe en passant par les positions de mesure les plus proches de la paroi) à partir de l'hypothèse selon laquelle le profil des vitesses dans cette zone suit une loi de puissance.

Pour cette méthode, les points de mesure peuvent être situés aux positions permettant une connaissance satisfaisante du profil des vitesses.

4.1.2 Intégration numérique du champ des vitesses (voir [Article 10](#))

La différence entre cette méthode et [4.1.1](#) réside dans le fait que le graphique du profil des vitesses est remplacé par une courbe algébrique et que l'intégration est effectuée de façon analytique.

4.1.3 Méthodes arithmétiques (voir [Article 11](#))

Les méthodes arithmétiques supposent que la distribution des vitesses suit une loi particulière; la vitesse moyenne dans la conduite est alors calculée à partir d'une combinaison linéaire des vitesses individuelles mesurées aux emplacements spécifiés par la méthode.

Pour les méthodes arithmétiques décrites à l'[Article 11](#), on suppose que, dans la zone pariétale, la distribution des vitesses suit une loi logarithmique en fonction de la distance à la paroi.

4.2 Mesurage de la section de mesure

4.2.1 Sections circulaires

Le diamètre moyen de la conduite est pris égal à la moyenne arithmétique des mesures obtenues sur au moins quatre diamètres (y compris les diamètres d'exploration) répartis à des angles approximativement égaux entre eux dans la section de mesure. Si la différence entre les longueurs de deux diamètres consécutifs est supérieure à 0,5 %, le nombre de diamètres mesurés doit être doublé.

4.2.2 Sections rectangulaires

La largeur et la hauteur de la conduite doivent être mesurées au moins sur chaque droite (au moins quatre) passant par les points de mesure. Si la différence entre les largeurs (ou hauteurs) correspondant à deux droites de mesure successives est supérieure à 1 %, le nombre de largeurs (ou hauteurs) mesurées doit être doublé.

4.3 Mesurage des vitesses locales

4.3.1 Méthode d'exploration de la section de mesure

Il est parfois proposé de monter plusieurs tubes de Pitot sur une batterie fixe afin d'explorer simultanément toute la section de mesure. Cependant, les données expérimentales disponibles au moment de la publication sont insuffisantes pour définir la conception de certains détails (tels que la forme de l'antenne et de la hampe) qui permettraient de s'assurer que les mesurages effectués au moyen d'une batterie atteignent l'exactitude requise par le présent document.

Par conséquent, le présent document ne traite que des méthodes d'exploration du champ des vitesses à l'aide d'un seul tube de Pitot placé successivement en chaque point de mesure.

4.3.2 Mesurage de référence

Des mesurages de référence doivent être effectués pour vérifier la stabilité de l'écoulement et pour corriger les mesures de vitesse ponctuelles, afin de tenir compte de légères variations de débit pendant l'exploration; tout dispositif de mesure de référence inséré dans la conduite doit être placé de façon à éviter toute interaction avec le tube de Pitot utilisé pour l'exploration. Le mesurage de référence doit être effectué, dans la mesure du possible, en même temps que chaque mesurage de vitesse.

Cependant, si un seul dispositif de mesure est disponible, la stabilité de l'écoulement doit être vérifiée en réitérant les mesurages au point de référence après chaque mesurage des vitesses locales.

La forme du profil des vitesses dans la section de mesure doit rester stable et ne doit pas être affectée par les éventuelles variations de débit lorsque les mesurages sont effectués.

Une fois que la courbe de la vitesse de référence v_r a été tracée en fonction du temps, cette courbe est utilisée pour ramener toutes les mesures d'exploration à un même débit de référence q_o (de préférence celui qui correspond à la moyenne des mesures de vitesse au point fixe). Pour les variations relativement faibles de la vitesse de référence, la vitesse $v_{i,t}$ mesurée en un point quelconque i , à l'instant t , peut être transposée en la multipliant par le rapport de vitesse $v_{r,o}$, au point de référence correspondant au débit q_o , à la vitesse $v_{r,t}$ en ce point de référence à l'instant t , conformément à la [Formule \(1\)](#):

$$v_{i,o} = v_{i,t} \left(\frac{v_{r,o}}{v_{r,t}} \right) \quad (1)$$

NOTE Lorsque la mesure de référence est une grandeur directement proportionnelle au débit (par exemple, la fréquence de rotation d'un arbre entraînant un ventilateur ou une pompe), cette mesure peut être directement remplacée par $v_{r,o}$ et $v_{r,t}$ dans la formule ci-dessus. Lorsque la mesure de référence est sous la forme d'une différence de pression (par exemple dans une structure fixe du circuit d'écoulement, ou la pression différentielle d'un tube de Pitot de référence), la racine carrée de chaque mesure de référence peut être remplacée par $v_{r,o}$ et $v_{r,t}$ dans la formule ci-dessus.

Noter cependant que des fluctuations du profil des vitesses peuvent se produire sans que cela entraîne des fluctuations du débit. Dans ce cas, l'utilisation d'une vitesse ponctuelle de référence peut entraîner des erreurs et il est préférable de contrôler la stabilité de l'écoulement à l'aide d'un dispositif déprimogène (débitmètre déprimogène normalisé, contrôle piézométrique sur un convergent, un coude, une bêche spirale, perte de charge singulière, etc.), même non étalonné, à condition que sa fiabilité et sa sensibilité aient été vérifiées. Dans ce cas, la correction proportionnelle susmentionnée porte sur la pression différentielle et non sur la vitesse.

4.3.3 Contrôle de la distribution des vitesses

Il est recommandé de contrôler la régularité de la distribution des vitesses soit par un tracé soit par d'autres moyens, indépendamment du fait que le tracé soit nécessaire ou non pour calculer la vitesse débitante.

De la même manière, lorsque plusieurs mesurages sont effectués dans la même section à des débits différents, il est recommandé de tracer les profils des vitesses de manière adimensionnelle (c'est-à-dire en utilisant les vitesses relatives; voir 3.1.8) pour vérifier leur concordance et pour s'assurer qu'il n'existe pas de profils anormaux à certains débits (ainsi, les profils ne doivent pas varier de manière erratique lorsque le débit varie sur une large gamme de nombres de Reynolds).

Il peut également être utile de tracer les courbes de distribution des vitesses comme indiqué ci-dessus afin de détecter une erreur éventuelle sur la mesure d'une vitesse locale. Si cela est possible, la mesure suspecte doit être répétée; en cas d'impossibilité, elle doit être ignorée et le profil des vitesses doit être tracé sur la base des profils obtenus précédemment à condition qu'il existe des raisons de penser que la mesure suspecte est réellement fautive.

4.4 Emplacement et nombre de points de mesure dans la section

4.4.1 Exigences générales

Les règles à suivre pour positionner les points de mesure diffèrent suivant les méthodes de détermination de la vitesse débitante spécifiées dans le présent document. Ces règles sont indiquées aux Articles 9, 10 et 11, respectivement.

Quelle que soit la méthode utilisée, la distance entre l'axe de l'antenne du tube de Pitot et la paroi ne doit pas être inférieure au diamètre de l'antenne, d .

L'emplacement du tube de Pitot doit être calculé d'après les dimensions réelles de la conduite le long de chaque droite d'exploration (plutôt que d'après les dimensions moyennes) et doit être mesuré avec une tolérance égale à la plus petite des deux valeurs suivantes:

a) $\pm 0,005 \cdot X$, où X représente la dimension de la conduite parallèle au mesurage de la position du tube de Pitot;

ou

b) $\pm 0,05 \cdot y$, où y représente la distance du tube de Pitot à la paroi la plus proche.

Les paragraphes 4.4.2 et 4.4.3 spécifient un nombre minimal de points de mesure applicables en particulier à des conduites de petites dimensions. Étant donné qu'il est nécessaire de définir le profil des vitesses le plus précisément possible, il peut être utile d'augmenter le nombre de points de mesure, à condition que les conditions de fonctionnement et la stabilité de l'écoulement le permettent.

Lorsqu'un seul tube de Pitot est utilisé pour explorer la conduite, la distance entre un point de référence (à partir duquel chaque position est mesurée) et la paroi de la conduite doit d'abord être déterminée. Cela peut introduire une erreur systématique relativement élevée sur toutes les mesures de position. Dans ce cas, il est recommandé d'explorer des diamètres complets (plutôt que les rayons opposés sur chaque diamètre), car l'erreur systématique aura tendance à disparaître sur les deux moitiés de l'exploration.

4.4.2 Sections circulaires

Les points de mesure doivent être situés à chaque intersection d'un nombre donné de circonférences centrées sur l'axe de la conduite et d'au moins deux diamètres perpendiculaires entre eux.

Les mesurages doivent être effectués en au moins trois points par rayon, soit au moins 12 points dans la section. Un point de mesure supplémentaire au centre de la conduite est souhaitable pour vérifier la

forme du profil des vitesses et est nécessaire pour calculer la correction de l'obstruction causée par la hampe, le cas échéant (voir [12.1.2](#)).

4.4.3 Sections rectangulaires

Le nombre minimal de points de mesure doit être de 25. À moins qu'une disposition spéciale des points de mesure soit requise pour utiliser une méthode arithmétique, leur position doit être définie par les intersections d'au moins cinq droites parallèles à chaque paroi de la conduite.

5 Conception des tubes de Pitot

5.1 Description générale

Il est recommandé d'utiliser l'un des types de tube de Pitot décrits à l'[Annexe A](#), tous satisfaisant aux exigences de [5.2](#); cela évite d'apporter un certain nombre de corrections aux mesures. L'utilisation de tout autre tube de Pitot satisfaisant aux exigences de [5.2](#) est autorisée à condition que son étalonnage soit connu.

Les tubes de Pitot doubles traités dans le présent document comprennent une antenne cylindrique fixée perpendiculairement à une hampe passant habituellement au travers de la paroi d'une conduite. La longueur de l'antenne est généralement comprise entre $15d$ et $25d$, où d est le diamètre de la tête.

Dans une ou deux sections le long de l'antenne, des orifices de prise de pression statique sont percés autour de la circonférence. Ainsi, en l'absence de fuite, la pression enregistrée est transférée par l'antenne et la hampe jusqu'à un point situé en dehors de la conduite.

Un tube plus petit, concentrique à la tête et à la hampe, transfère la pression totale, enregistrée par un orifice situé face à la direction de l'écoulement au bout d'une étrave axi-symétrique faisant partie intégrante de l'antenne, jusqu'à un point situé en dehors de la conduite.

Un bras d'alignement, fixé à l'extrémité de la hampe, facilite l'alignement de l'antenne lorsque celle-ci est cachée par la paroi de la conduite.

5.2 Critères devant être remplis par le tube de Pitot

L'étrave (y compris l'orifice de prise de pression totale) doit être conçue de manière à satisfaire aux exigences suivantes.

- a) La réponse de la pression différentielle à l'inclinaison de l'antenne par rapport à l'écoulement doit satisfaire à l'une des deux conditions suivantes selon les circonstances (dans les deux cas il est nécessaire de connaître la courbe de réponse du tube de Pitot):
 - 1) s'il est impossible d'aligner précisément le tube de Pitot par rapport à l'axe de la conduite, mais qu'il n'existe pas de giration, il convient que la pression différentielle soit la plus indépendante possible de l'inclinaison de l'antenne dans un écoulement uniforme¹⁾;
 - 2) s'il est possible d'aligner précisément le tube de Pitot par rapport à l'axe de la conduite, mais qu'il existe des girations, la variation de la pression différentielle enregistrée par le tube dans un écoulement uniforme avec une inclinaison, φ , doit être approximativement proportionnelle à $\cos^2\varphi$. Si l'alignement de la tête est parfaitement axial et si l'angle de giration est inférieur à $\pm 3^\circ$, la pression différentielle ne doit pas dévier de plus de 1 % par rapport à cette loi.

Il convient de noter qu'un mauvais d'alignement et des girations peuvent coexister et il convient de les réduire au minimum.

1) Les tubes de Pitot décrits à l'[Annexe A](#) permettent une indépendance de la pression différentielle à $\pm 1,5$ % jusqu'à une inclinaison de 14° dans un écoulement uniforme.

- b) Les coefficients d'étalonnage, pour différents modèles de tubes conformes à une spécification particulière, doivent être identiques à $\pm 0,25$ % près et le rester pendant toute la durée de vie de ces tubes. Si l'utilisateur a un doute à ce sujet, il convient d'effectuer un étalonnage individuel de chaque tube de Pitot.
- c) En cas d'utilisation dans un liquide, l'éventuelle cavitation due à l'étrave ne doit pas produire d'erreur significative sur la valeur de pression statique relevée par le tube.
- d) Les orifices de prise de pression statique doivent:
 - 1) avoir un diamètre inférieur ou égal à 1,6 mm;
 - 2) être au moins au nombre de six et en nombre suffisant pour avoir un amortissement dans le circuit de pression statique aussi égal que possible à celui qui existe dans le circuit de pression totale; si nécessaire, sur des tubes de Pitot de faible diamètre, les orifices peuvent être répartis dans deux plans;
 - 3) être placés au moins à $6d$ de l'extrémité de l'étrave;
 - 4) être placés à au moins $8d$ de l'axe de la hampe.
- e) Si la hampe est évasée pour atteindre un diamètre d' , la longueur de hampe entre l'axe de l'antenne et le commencement de l'évasement doit être supérieure ou égale à $7d'$, longueur sur laquelle le diamètre de la hampe est égal au diamètre de l'antenne.
- f) Le raccordement entre l'antenne et la hampe doit être soit cintré soit coudé selon un rayon moyen égal à $(3 \pm 0,5)d$.
- g) Un bras d'alignement doit être fixé à l'extrémité de la hampe assez loin de l'antenne pour permettre un alignement et un positionnement précis dans la conduite.

Trois types de tubes de Pitot, couramment utilisés et satisfaisant à ces critères, sont décrits à titre d'exemple à l'[Annexe A](#).

6 Exigences relatives à l'utilisation des tubes de Pitot

6.1 Choix de la section de mesure

6.1.1 Emplacement de la section de mesure (de sélection)

La section de mesure choisie doit être située dans la longueur droite de la conduite et doit être perpendiculaire à la direction de l'écoulement. Sa forme doit être simple, par exemple circulaire, rectangulaire. Elle doit se situer dans une zone où les vitesses mesurées sont comprises dans la plage de fonctionnement normale de l'appareil utilisé (voir [6.3.2](#)).

6.1.2 Prévention de la dissymétrie, de la giration et de la turbulence

Au voisinage de la section de mesure, l'écoulement doit être sensiblement parallèle et symétrique par rapport à l'axe de la conduite et ne doit présenter ni turbulence excessive ni giration; la section de mesure doit donc être choisie suffisamment éloignée de toute perturbation qui pourrait créer une dissymétrie, une giration ou de la turbulence (voir [6.1.4](#)).

La longueur droite de conduite qui peut être nécessaire pour satisfaire à ces conditions variera en fonction de la vitesse de l'écoulement, des perturbations en amont, du niveau de turbulence et du degré de giration, le cas échéant²⁾.

6.1.3 Déviation maximale de l'écoulement

Même s'il convient d'éviter le plus possible de réaliser des mesurages avec un tube de Pitot dans un écoulement incliné ou convergent, il est toutefois possible de le faire à condition que la déviation maximale de l'écoulement par rapport à l'axe du tube de Pitot ne dépasse pas 3°.

À titre indicatif, on peut également considérer qu'une giration est suffisamment faible pour ne pas accroître les limites de confiance, données dans le présent document, sur le débit mesuré si le gradient obtenu des vitesses locales par rapport à l'axe de la conduite est inférieur à 3°.

6.1.4 Explorations préliminaires

Des explorations préliminaires doivent être effectuées afin de s'assurer que l'écoulement est régulier.

Si ces explorations montrent que l'écoulement n'est pas satisfaisant, on pourra éventuellement y remédier au moyen de l'un des dispositifs décrits en [6.2](#).

Une fois ces dispositifs mis en place, vérifier que l'écoulement est conforme aux exigences du présent document. Dans le cas contraire, une exploration plus détaillée de la section de mesure est nécessaire.

6.2 Dispositifs d'amélioration des conditions d'écoulement

6.2.1 Dispositif anti-giratoire (standards.iteh.ai)

Si l'écoulement présente une giration, on peut souvent la supprimer à l'aide d'un dispositif anti-giratoire constitué soit d'un empilage de tubes parallèles à la direction de l'écoulement, soit par un nid d'abeille à alvéoles carrées ou hexagonales. Quel que soit le type utilisé, l'ensemble du dispositif doit être rigoureusement symétrique et les exigences suivantes doivent être satisfaites:

- la dimension transversale maximale, a , d'un canal doit être inférieure à $0,25 D$, où D est le diamètre de la conduite;
- la longueur doit être supérieure à $10 a$.

6.2.2 Égalisateur de profil

Si la distribution des vitesses est trop irrégulière, il est souvent possible d'y remédier à l'aide d'un égalisateur de profil constitué, par exemple, d'un ou de plusieurs écrans, grilles ou tôles perforées. Noter toutefois que ces dispositifs n'acquiescent une certaine efficacité qu'au prix d'une perte de charge assez élevée.

6.2.3 Positionnement/Emplacement des dispositifs

Les dispositifs décrits en [6.2.1](#) et [6.2.2](#) doivent être placés aussi loin que possible en amont de la section de mesure et en tout cas à une distance de celle-ci au moins égale à cinq fois le diamètre d'une conduite de section circulaire (ou 20 fois le rayon hydraulique d'une conduite de section quelconque). De plus, ils ne doivent pas être placés immédiatement en aval d'une perturbation.

2) À titre indicatif, on considère normalement que, pour satisfaire à ces conditions, il convient que la longueur de conduite en amont entre le début de la section utile et toute singularité significative en amont (voir 3.2.10) soit d'au moins 20 fois le diamètre d'une conduite de section circulaire (ou 80 fois le rayon hydraulique d'une conduite de section quelconque). De la même manière, il convient que la distance entre la section de mesure et toute singularité significative en aval soit au moins égale à 5 fois le diamètre d'une conduite de section circulaire (ou 20 fois le rayon hydraulique d'une conduite de section quelconque).