

---

# Norme internationale



# 7194

---

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

---

## Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées — Mesure de débit dans les conduites circulaires dans le cas d'un écoulement giratoire ou dissymétrique par exploration du champ des vitesses au moyen de moulinets ou de tubes de Pitot doubles

*Measurement of fluid flow in closed conduits — Velocity-area methods of flow measurement in swirling or asymmetric flow conditions in circular ducts by means of current-meters or Pitot static tubes*

ISO 7194:1983

Première édition — 1983-09-15

[standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a99bb697-b276-4d68-9b45-aac33feeb4f2/iso-7194-1983](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a99bb697-b276-4d68-9b45-aac33feeb4f2/iso-7194-1983)

---

CDU 532.574.23

Réf. n° : ISO 7194-1983 (F)

Descripteurs : mesurage de débit, écoulement de liquide, écoulement en conduite fermée, mesurage de vitesse, instrument de mesurage.

## 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 7194 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 30, *Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées*, et a été soumise aux comités membres en mai 1982.

Les comités membres des pays suivants l'ont approuvée : [ISO 7194:1983](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a99bb697-b276-4d68-9b45-aa306b12/iso-7194-1983)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a99bb697-b276-4d68-9b45-aa306b12/iso-7194-1983>

Afrique du Sud, Rép. d'	Inde	Roumanie
Australie	Italie	Royaume-Uni
Belgique	Norvège	Tchécoslovaquie
Égypte, Rép. arabe d'	Pays-Bas	URSS
France	Pologne	

Les comités membres des pays suivants l'ont désapprouvée pour des raisons techniques :

Allemagne, R. F.  
USA

## Sommaire

Page

0	Introduction .....	1
1	Objet et domaine d'application .....	1
2	Références .....	1
3	Symboles .....	2
4	Principe .....	2
5	Choix de la section de mesure .....	2
6	Dispositifs pour améliorer l'écoulement .....	3
7	Détermination des vitesses locales .....	4
8	Détermination de la vitesse débitante .....	6
9	Précision sur la mesure de débit .....	6

## Annexes

A	Détection et suppression des fluctuations régulières de pression .....	17
B	Amortissement des manomètres .....	19
C	Détermination des emplacements du tube de Pitot double pour la méthode B ..	20
D	Corrections à appliquer dans le cas d'un tube de Pitot double .....	22
E	Corrections à appliquer dans le cas d'un moulinet .....	23
F	Erreurs dues à une répartition des vitesses non axisymétrique .....	26

Page blanche

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

ISO 7194:1983

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a99bb697-b276-4d68-9b45-aae33feeb4f2/iso-7194-1983>

# Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées — Mesure de débit dans les conduites circulaires dans le cas d'un écoulement giratoire ou dissymétrique par exploration du champ des vitesses au moyen de moulinets ou de tubes de Pitot doubles

## 0 Introduction

Pour pouvoir effectuer des mesures de débit de fluides monophasiques dans des conduites fermées par la méthode d'exploration du champ des vitesses à l'aide soit de moulinets, soit de tubes de Pitot doubles avec une précision satisfaisante (de l'ordre de  $\pm 2\%$  par exemple), il faut normalement disposer d'une section de mesure où règne une répartition régulière des vitesses, se rapprochant de celle d'un écoulement établi (voir ISO 3354 et ISO 3966).

Dans certains cas cependant, il est pratiquement impossible d'obtenir un tel écoulement mais il est souhaitable de parvenir à une mesure du débit aussi bonne que possible.

## 1 Objet et domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie des méthodes par exploration du champ des vitesses au moyen de moulinets ou de tubes de Pitot doubles, pour mesurer le débit dans les conduites circulaires dans le cas d'un écoulement giratoire ou dissymétrique.

Elle spécifie les mesures à effectuer, les précautions à prendre, les corrections à apporter et les sources d'erreurs supplémentaires à craindre lorsqu'on est contraint d'effectuer une mesure de débit en écoulement giratoire ou dissymétrique.

Bien que des méthodes d'utilisation des techniques d'intégration du champ des vitesses afin de mesurer le débit lorsque l'écoulement présente une giration et/ou une dissymétrie soient décrites, il faut s'efforcer, toutefois, de choisir une section de mesure dans la conduite où la giration et la dissymétrie sont aussi réduites que possible.

La présente Norme internationale ne traite cependant que des écoulements pour lesquels la composante radiale de la vitesse est négligeable. De plus, on ne peut pas faire de mesure répu-

tée conforme à la présente Norme internationale si en un point quelconque de la section de mesure, la vitesse locale forme un angle de plus de  $40^\circ$  avec l'axe de la conduite ou si l'indice de dissymétrie  $Y$  (défini en annexe F) est supérieur à 0,15.

Il faut souligner que la présente Norme internationale ne traite que des cas où la vitesse locale est mesurée à l'aide des appareils définis dans l'ISO 3354 et l'ISO 3966. Si l'on utilise des tubes de Pitot doubles, la présente Norme internationale ne s'applique qu'aux écoulements pour lesquels le nombre de Mach correspondant aux vitesses locales est inférieur ou égal à 0,25.

## 2 Références

ISO/TR 3313, *Mesure du débit d'un écoulement pulsatoire de fluide dans une conduite, au moyen de diaphragmes, tuyères ou tubes de venturi, en particulier dans le cas de pulsations sinusoïdales ou périodiques intermittentes à ondes rectangulaires.*

ISO 3354, *Mesure du débit d'eau propre dans les conduites fermées — Méthode d'exploration du champ des vitesses au moyen de moulinets.*

ISO 3455, *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts — Étalonnage des moulinets à élément rotatif en bassins découverts rectilignes.*

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 4006, *Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées — Vocabulaire et symboles.*

ISO 5168, *Mesure de débit des fluides — Calcul de l'erreur limite sur une mesure de débit.*

### 3 Symboles (voir également ISO 4006)

Symbole	Grandeur	Dimensions	Unité SI
$D$	Diamètre de la conduite	L	m
$d$	Diamètre de l'antenne d'un tube de Pitot double Diamètre des orifices ou des tubes d'un tranquilliseur	}	L
$E$	Erreur limite, en valeur relative	—	—
$e$	Erreur limite, en valeur absolue	*	*
$k_\varphi$	Coefficient d'étalonnage directionnel	—	—
$l$	Longueur de l'antenne d'un tube de Pitot double	L	m
$R$	Rayon de la conduite	L	m
$r$	Rayon d'une circonférence de mesure	L	m
$U$	Vitesse débitante	LT <sup>-1</sup>	m/s
$U_i$	Vitesse moyenne le long du $i^{\text{ème}}$ rayon	LT <sup>-1</sup>	m/s
$v$	Vitesse locale du fluide	LT <sup>-1</sup>	m/s
$v_x$	Composante de la vitesse locale parallèle à l'axe de la conduite	LT <sup>-1</sup>	m/s
$Y$	Indice de dissymétrie de l'écoulement	—	—
$y$	Distance à la paroi de l'intersection des axes de l'antenne et de la hampe d'un tube Pitot double	L	m
$y_1$	Distance à la paroi de l'étrave d'un tube de Pitot double	L	m
$\alpha$	Coefficient d'étalonnage d'un tube de Pitot double	—	—
$\Delta p$	Pression différentielle mesurée par un tube de Pitot double	ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup>	Pa
$\varepsilon$	Coefficient de détente	—	—
$\theta$	Angle de la vitesse locale avec l'axe de la conduite	—	rad**
$\rho$	Masse volumique du fluide	ML <sup>-3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
$\varphi$	Angle de la vitesse locale avec l'axe de l'appareil de mesure	—	rad**

\* Les dimensions et unités sont celles de la grandeur considérée. [ISO 7194:1983](#)

\*\* Bien que l'unité SI soit le radian, dans le cadre de la présente Norme internationale, les angles sont exprimés en degrés.

[9b45-aac33feeb4f2/iso-7194-1983](#)

### 4 Principe

La présente Norme internationale décrit

- les méthodes qui permettent d'effectuer une exploration en écoulement dissymétrique ou giratoire en minimisant les erreurs;
- les corrections qui devraient être appliquées pour certaines sources d'erreurs;
- les méthodes pour déterminer l'augmentation de l'erreur limite sur la mesure du débit lorsqu'il n'est pas possible d'éliminer l'influence d'une source d'erreur particulière.

Les sources d'erreurs qui sont à l'origine des erreurs limites dont il est question dans la présente Norme internationale sont les suivantes :

- a) sur la détermination des vitesses locales, les erreurs dues au comportement des instruments dans un écoulement perturbé;
- b) sur le calcul de la vitesse débitante, les erreurs dues au nombre et à la position des points de mesure et à la méthode d'intégration utilisée.

Certaines de ces erreurs peuvent éventuellement faire l'objet de corrections, mais dans le cas général, l'erreur limite sur la

mesure du débit doit être augmentée en fonction des caractéristiques de l'écoulement.

### 5 Choix de la section de mesure

Lorsque la disposition de la conduite et de ses accessoires est telle que tous les changements de direction de l'écoulement se trouvent dans le même plan (par exemple avec un seul coude, une seule vanne, ou deux coudes en «S»), cela n'introduit aucune giration d'ensemble et la perturbation de l'écoulement qui en résulte se résume pour l'essentiel à une répartition dissymétrique des vitesses.

Cependant, si la disposition de la conduite est telle que l'écoulement change de direction sur une faible distance dans au moins deux plans différents (par exemple avec deux coudes dans des plans orthogonaux), une giration d'ensemble de l'écoulement sera créée en plus de la dissymétrie introduite par chacun des accessoires.

Contrairement à la dissymétrie, la giration a un effet important sur la réponse des tubes de Pitot doubles et des moulinets, et de plus elle se conserve sur de beaucoup plus longues distances. Aussi, chaque fois que possible, le plan de mesure ne devra pas être en aval d'une configuration créant une giration. Il faut s'efforcer dans la mesure du possible d'éviter de placer le plan de mesure en aval d'un dispositif réglable dont la configuration peut varier (par exemple une vanne de réglage du débit) dans les cas où il est nécessaire de mesurer des débits différents.

## 6 Dispositifs pour améliorer l'écoulement

**6.1** Lorsque l'on doit effectuer une mesure en écoulement dissymétrique ou giratoire, un dispositif (tranquilliseur) pour améliorer l'écoulement doit être utilisé, si cela est possible. Celui-ci doit être installé selon le schéma donné à la figure 1.

Les longueurs  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  doivent remplir les conditions :  $L_1 > 3D$ ;  $L_2 > 5D$ ;  $L_3 > 2D$ .

Chaque fois que possible, ces distances doivent être augmentées. Lorsqu'une longueur droite totale supérieure à 10 diamètres de la conduite est disponible à l'amont de la section de mesure, il est préférable d'augmenter la distance entre l'accessoire et le tranquilliseur plutôt que d'augmenter la distance entre le tranquilliseur et la section de mesure.

**6.2** Le choix du tranquilliseur dépend de la nature de la répartition des vitesses qui doit être corrigée et de la «perte de charge»<sup>1)</sup> admissible. Cinq types de tranquilliseurs sont décrits ci-dessous.

### 6.2.1 Type A — Tranquilliseur Zanker (voir figure 2)

Le but de ce dispositif est d'éliminer à la fois la giration et la dissymétrie, et il engendre une perte d'énergie mécanique d'environ cinq fois l'énergie cinétique correspondant à la vitesse débitante. Les diverses plaques doivent être choisies de manière à assurer une bonne tenue mécanique mais ne doivent pas être plus épaisses que nécessaire.

### 6.2.2 Type B — Tranquilliseur Sprengle (voir figure 3)

Le tranquilliseur Sprengle est composé de trois plaques perforées en série, et il est particulièrement efficace pour éliminer la dissymétrie. Toutefois, il engendre une perte d'énergie mécanique importante (environ 15 fois l'énergie cinétique correspondant à la vitesse débitante) mais si une telle perte n'est pas acceptable, on peut utiliser deux plaques ou même une seule (avec des pertes respectives d'environ dix et cinq fois l'énergie cinétique). Les dispositifs à deux ou une seule plaque n'éliminent pas complètement une forte dissymétrie comme le ferait un ensemble à trois plaques, mais sont souvent suffisants pour des perturbations telles que celles créées par un coude simple. Les tranquilliseurs à plaques perforées réduisent en partie la giration, mais ne sont pas conçus pour cela; si, toutefois, la giration est le phénomène dominant dans l'irrégularité de la répartition des vitesses, un des autres tranquilliseurs doit être utilisé.

### 6.2.3 Type C — Tranquilliseur à faisceau de tubes (voir figure 4)

Le but principal des tranquilliseurs à faisceau de tubes est d'éliminer la giration, mais ils ont également quelque effet pour réduire la dissymétrie. Ils doivent avoir au moins 19 tubes, d'une longueur d'au moins 20 fois le diamètre des tubes et chaque tube doit avoir un diamètre maximal égal au cinquième du diamètre de la conduite. La perte d'énergie mécanique due à ce tranquilliseur dépend de la taille et de la longueur des tubes individuels, mais elle est généralement d'environ cinq fois l'énergie cinétique.

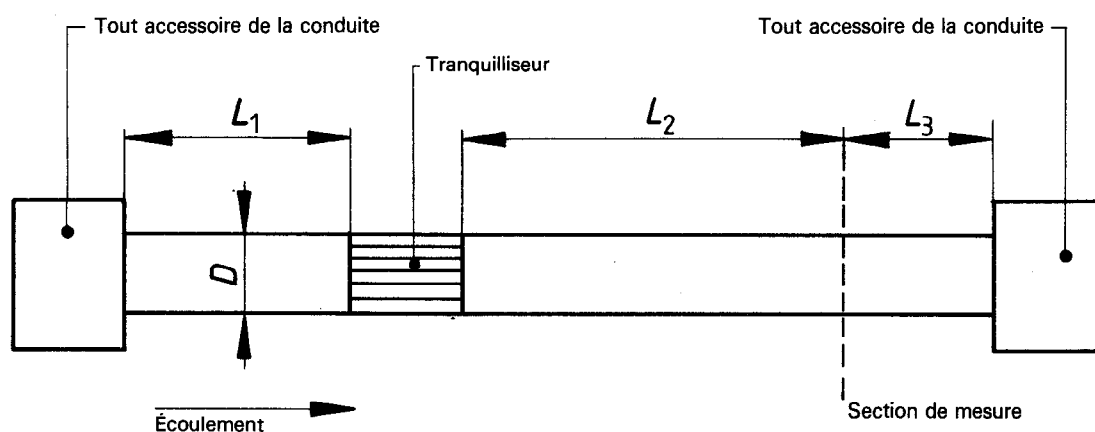


Figure 1 — Installation du tranquilliseur

1) Expression courante (quoique impropre en écoulement compressible) pour désigner la perte d'énergie mécanique de l'écoulement.

**6.2.4 Type D — Tranquilliseur AMCA** (voir figure 5)

Le tranquilliseur AMCA n'est utile que pour éliminer la giration. Il n'améliore pas les répartitions des vitesses dissymétriques. Ses dimensions sont données à la figure 5, et il engendre une très faible perte d'énergie mécanique, normalement environ 0,25 fois l'énergie cinétique.

**6.2.5 Type E — Tranquilliseur étoile** (voir figure 6)

Le tranquilliseur étoile est aussi destiné à éliminer la giration et n'est d'aucun secours contre les répartitions de vitesses dissymétriques. Les huites lames radiales doivent être choisies de manière à assurer une bonne tenue mécanique, mais ne doivent pas être plus épaisses que nécessaire. Ce tranquilliseur doit avoir une longueur égale à deux fois le diamètre de la conduite. Il engendre une très faible perte d'énergie mécanique, semblable à celle du tranquilliseur AMCA, mais a l'avantage d'être beaucoup plus facile à construire. De plus, il permet une bonne répartition radiale de la pression statique lorsque l'écoulement le traverse, ce qui n'est pas le cas des tranquilliseurs AMCA, Zanker ou à faisceau de tubes, à l'aval desquels la répartition de la pression dans une section de la conduite peut présenter des variations notables.

**7 Détermination des vitesses locales**

Sauf indications contraires mentionnées dans le corps de la présente Norme internationale, la mise en œuvre et les conditions à remplir par les instruments de mesure des vitesses locales doivent être conformes aux spécifications de l'ISO 3354 ou l'ISO 3966.

Lorsqu'il se produit une giration notable, le fait que la direction de l'écoulement diffère de la direction axiale influe sur la réponse de l'instrument de mesure. Ceci doit être pris en considération pour chaque position de mesure dans la section de conduite afin de déterminer la composante axiale des vitesses locales. La procédure varie selon que l'on utilise un tube de Pitot double ou un moulinet.

**7.1 Nombre et emplacement des points de mesure**

Le nombre et l'emplacement des points de mesure dans la section de mesure doivent être conformes aux spécifications de l'ISO 3354 ou l'ISO 3966, compte tenu de la méthode d'intégration choisie. Cependant, le nombre minimal de points de mesure par rayon doit être de cinq (non compris une éventuelle mesure au centre) et, lorsqu'on peut penser que l'écoulement est dissymétrique, le nombre minimal de rayons doit être de six. Il faut également effectuer sur chaque rayon au moins une mesure de la vitesse locale dans chacune des zones suivantes sans tenir compte de la mesure éventuelle faite au centre :

$$0 < \left(\frac{r}{R}\right)^2 < 0,2$$

$$0,2 < \left(\frac{r}{R}\right)^2 < 0,4$$

$$0,4 < \left(\frac{r}{R}\right)^2 < 0,6$$

$$0,6 < \left(\frac{r}{R}\right)^2 < 0,8$$

$$0,8 < \left(\frac{r}{R}\right)^2 \leq 1,0$$

Cette condition est automatiquement remplie lorsque l'on utilise les méthodes d'intégration log-linéaire ou log-Tchebycheff, mais il faut choisir les positions des points de mesure de façon à ce qu'elles vérifient cette prescription lorsque l'on utilise une méthode d'intégration graphique ou numérique.

Souvent, s'il y a une raison de croire que l'écoulement puisse être dissymétrique, l'erreur limite sur la mesure du débit sera davantage réduite en augmentant le nombre de rayons sur lesquels les mesures sont faites qu'en augmentant le nombre de points par rayon. Par exemple, si l'on dispose de 48 moulinets à installer dans la conduite, il est préférable d'en placer six sur chacun des huit rayons plutôt que d'en placer huit sur chacun des six rayons.

**7.2 Influence des fluctuations de pression**

Dans toute conduite où se produit un écoulement dans les conditions définies dans l'ISO 3966 aussi bien que dans la présente Norme internationale, il existe des fluctuations de pression directement liées aux composantes turbulentes des vitesses locales qui s'ajoutent à l'écoulement moyen. Le tube de Pitot double utilisé pour l'exploration transmettra ces fluctuations au manomètre ou au capteur de pression sous forme de composantes de la pression différentielle instantanée. Un amortissement suffisant dans le circuit manométrique aidera l'opérateur à évaluer la pression différentielle moyenne, mais un tel amortissement doit être symétrique et linéaire, afin d'éviter une erreur supplémentaire impossible à chiffrer. L'erreur sur la vitesse moyenne évaluée à partir de la moyenne temporelle des lectures de la pression différentielle en présence de turbulence est considérée séparément au chapitre 8.

L'amortissement symétrique et linéaire du circuit manométrique doit être suffisant pour éviter que les fluctuations des indications du manomètre en chaque point de mesure ne dépassent  $\pm 3\%$  de la lecture moyenne en ce point.

Des recommandations pour s'assurer que l'amortissement est symétrique et linéaire sont données à l'annexe B.

Des fluctuations de pression d'origine acoustique, tout à fait indépendantes des vitesses locales de l'écoulement, peuvent se produire dans certaines conduites, notamment dans le cas des écoulements gazeux. Ces fluctuations de pression sont généralement beaucoup plus importantes que celles dues à la turbulence. Le moindre défaut de linéarité de l'amortissement du circuit manométrique entraîne alors inévitablement une erreur importante sur les vitesses locales déduites des lectures moyennes du manomètre.

Avant de pouvoir effectuer des mesurages réputés conformes à la présente Norme internationale, l'utilisateur doit vérifier qu'il n'existe pas dans la conduite de fluctuations de pressions régulières notables et de les éliminer s'il en existe. Des conseils pour leur détection et leur suppression sont donnés à l'annexe A.



### 7.3 Mesure de la vitesse axiale à l'aide d'un tube de Pitot double

Des indications pour l'utilisation des tubes de Pitot doubles sont données à l'annexe D. Le tube de Pitot double utilisé doit être un de ceux décrits dans l'ISO 3966 et les mesures peuvent être faites selon l'une des deux méthodes suivantes.

Dans la méthode A (voir 7.3.1), la sonde doit être alignée en chaque position de mesure selon l'axe de la conduite et il faudra connaître la réponse de chaque tube de Pitot double selon son inclinaison par rapport à la direction de l'écoulement. Cette méthode ne peut être utilisée que pour des angles de giration inférieurs à 20°.

Dans la méthode B (voir 7.3.2), le tube de Pitot double doit être aligné en chaque position de mesure selon la direction de l'écoulement et, connaissant la vitesse mesurée et l'angle de la vitesse locale avec l'axe de la conduite, on peut calculer la vitesse axiale. Cette méthode s'applique dans tout le domaine couvert par la présente Norme internationale (c'est-à-dire des angles de giration inférieurs à 40°).

NOTE — À l'heure actuelle, il existe moins de données expérimentales permettant d'évaluer les erreurs pour la méthode B que pour la méthode A.

Dans les deux cas, il est nécessaire d'effectuer une exploration préliminaire avec une sonde clinométrique pour déterminer l'angle de giration à chaque position de mesure.

Deux types recommandés de sondes clinométriques sont représentés aux figures 7 et 8 et dans chaque cas, la méthode consiste à les faire tourner autour de l'axe de leur hampe jusqu'à ce que les pressions enregistrées par les deux prises soient égales; on sait alors que la sonde est alignée avec la direction de l'écoulement. Avant utilisation, il faut effectuer un essai dans une installation appropriée (par exemple dans une soufflerie) afin de déterminer la correspondance entre cette direction et le plan de référence de la sonde clinométrique elle-même.

#### 7.3.1 Méthode A

Cette méthode est utilisable seulement lorsque l'angle entre la vitesse locale et l'axe de la conduite est inférieur à 20° pour toutes les positions de mesure dans la section transversale.<sup>1)</sup>

L'effet de la giration sur le tube de Pitot double spécifié pour utilisation dans cette Norme internationale est donné à la figure 9 pour des sondes typiques mais la réponse directionnelle de la sonde particulière utilisée pour le mesurage doit être déterminée par un étalonnage préliminaire dans une installation appropriée (par exemple dans une soufflerie) car les sondes individuelles ont des caractéristiques différentes. Le résultat de cet étalonnage doit être exprimé en termes de

$$k_\varphi = \cos \varphi \sqrt{\frac{\Delta p_0}{\Delta p_\varphi}}$$

en fonction de l'angle de giration  $\varphi$ , où  $\Delta p_0$  et  $\Delta p_\varphi$  sont, pour une vitesse donnée, les valeurs des pressions différentielles lorsque l'angle entre la sonde et l'écoulement est, respectivement, zéro et  $\varphi$ .

Après avoir déterminé l'angle de giration avec une sonde clinométrique pour chaque position de mesure, l'antenne du tube de Pitot double doit être alignée parallèlement à l'axe de la conduite pour chaque position pour laquelle on veut mesurer la vitesse locale, et la pression différentielle est notée. À partir des mesures locales des pressions différentielles  $\Delta p_\varphi$  et des angles de giration, les vitesses axiales locales  $v_x$  doivent être calculées d'après l'équation

$$v_x = k_\varphi \alpha (1 - \varepsilon) \sqrt{\frac{2 \Delta p_\varphi}{\rho}}$$

#### 7.3.2 Méthode B

Cette méthode n'est utilisable que lorsque l'angle entre la vitesse locale et l'axe de la conduite est inférieur à 40° pour toutes les positions de mesure dans la section transversale.

Après avoir déterminé l'angle de giration avec une sonde clinométrique à chaque position de mesure, un tube de Pitot double conforme aux spécifications de l'ISO 3966 doit être mis en place de telle sorte que l'axe de l'antenne soit parallèle en chaque point à la direction locale du fluide et on relève les pressions différentielles.

Dans cette méthode, les positions radiales de l'étrave du tube de Pitot double seront différentes de celles de la sonde clinométrique chaque fois qu'il existe une giration. Elles ne seront pas disposées le long d'un diamètre de la conduite, mais selon une courbe. Ceci est illustré à la figure 15 qui représente les positions caractéristiques du tube de Pitot double quand il existe une giration axisymétrique.

Lorsque l'on doit utiliser des emplacements prédéterminés pour les tubes de Pitot doubles (comme dans les mesures par les méthodes log-linéaire ou log-Tchebycheff), il est nécessaire de calculer les positions où doit se trouver le coude du tube de Pitot double pour que l'étrave puisse être à ces positions radiales. Inversement, si on utilise les méthodes par intégration numérique ou graphique, il est nécessaire de calculer les positions radiales effectives de l'étrave du tube de Pitot double en fonction des positions où l'on a placé le coude. L'équation pour effectuer ces calculs est donnée à l'annexe C.

Lorsque l'on utilise la méthode B, la valeur maximale de l'angle de giration locale limite le diamètre maximal admissible de l'antenne du tube de Pitot double. La figure 10 montre la relation entre la valeur maximale admissible du rapport  $d/D$  et le plus grand angle local de giration,  $d$  étant le diamètre de l'antenne du tube de Pitot double et  $D$  le diamètre de la conduite.

1) La sonde AMCA ne peut être utilisée dans la méthode A que pour des angles de giration inférieurs à 15° car il n'y a pas de données disponibles sur la réponse de ce type de sonde pour des angles d'incidence plus grands.

Les vitesses axiales doivent être calculées pour chaque position d'après la formule :

$$v_x = v \cos \theta$$

où

$v_x$  est la vitesse axiale;

$v$  est le module du vecteur vitesse, calculé comme indiqué dans l'ISO 3966;

$\theta$  est l'angle entre l'écoulement et l'axe de la conduite.

#### 7.4 Mesure de la vitesse axiale à l'aide d'un moulinet

L'effet d'une giration de l'écoulement sur la réponse d'un moulinet n'est qu'imparfaitement connu et dépend essentiellement, parmi d'autres facteurs, du type d'hélice. Il est cependant possible d'établir la loi de réponse d'une hélice donnée en fonction de son orientation par rapport à la vitesse d'écoulement; cette réponse peut être obtenue en traînant le moulinet dans un canal de tarage comme spécifié dans l'ISO 3455, mais en lui donnant successivement des différentes orientations par rapport à l'axe du canal. La figure 11 reproduit, à titre d'exemple, la réponse ainsi obtenue pour certaines hélices bien définies.

Lorsqu'on craint que l'écoulement dans la section de mesure présente une giration, il est généralement avantageux d'utiliser des hélices d'un modèle spécial dites «autocompensantes», qui ont été conçues pour mesurer directement la composante axiale de la vitesse locale  $v \cos \theta$  pour des vitesses formant avec l'axe de l'hélice un angle ne dépassant pas  $30^\circ$ . Dans les cas où l'angle de giration ne dépasse jamais  $30^\circ$ , aucune correction n'est donc nécessaire avec les hélices de ce type. Il faut toutefois attirer l'attention sur l'inconvénient que représente la sensibilité particulière de ce type d'hélices à l'influence du support du moulinet et à la turbulence de l'écoulement.

Si pour ces raisons, on préfère utiliser des hélices d'un type usuel, il est nécessaire, avant les essais, de déterminer l'angle de giration, par exemple en explorant la section de mesure à l'aide d'une sonde clinométrique comme décrit en 7.3. Si  $\theta$  est inférieur à  $5^\circ$ , on peut considérer que les hélices usuelles, orientées suivant l'axe de la conduite, donnent avec une précision satisfaisante la valeur de la composante axiale de la vitesse locale (l'erreur sera inférieure à  $\pm 1\%$ ). Si  $\theta$  est compris entre  $5$  et  $40^\circ$ , les indications d'une hélice donnée devront être corrigées en fonction d'un étalonnage préalable de cette hélice qui a établi la réponse de l'instrument aux inclinaisons à différents angles par rapport à l'écoulement. Au-delà de  $40^\circ$ , il n'est plus possible d'effectuer des mesures correctes. Des indications supplémentaires sur l'utilisation des moulinets sont données en annexe E.

#### 8 Détermination de la vitesse débitante

La vitesse débitante doit être calculée par l'une quelconque des méthodes d'intégration décrites dans l'ISO 3354 ou l'ISO 3966.

Lorsqu'on utilise un tube de Pitot double, la turbulence de l'écoulement entraîne une surestimation du débit (voir

annexe C de l'ISO 3966) qui, compte tenu des conditions particulières des écoulements considérés dans la présente Norme internationale, sera généralement comprise entre 1 et 2 %. Cette surestimation dépend non seulement du niveau de turbulence, mais aussi de la forme de l'étrave du tube de Pitot, et elle diminue lorsque le nombre de Reynolds augmente. La valeur de la vitesse débitante obtenue précédemment devra donc être minorée d'une quantité comprise entre 1 et 2 % que l'utilisateur de la norme devra évaluer au mieux en tenant compte des conditions particulières du mesurage (voir annexe D).

Lorsqu'on utilise des moulinets, aucune correction n'est à apporter à la valeur mesurée car, pour ces appareils, la turbulence peut entraîner des erreurs, tantôt positives, tantôt négatives (voir annexe E).

#### 9 Précision sur la mesure de débit

L'erreur limite sur la mesure de débit doit être calculée selon l'ISO 5168. Donc, si  $X_1, X_2, \dots, X_k$  sont les variables indépendantes que l'on doit mesurer afin de déterminer le débit, l'erreur limite absolue  $e_q$  sur le débit est donnée par :

$$e_q^2 = \left[ \frac{\partial q}{\partial X_1} e_1 \right]^2 + \left[ \frac{\partial q}{\partial X_2} e_2 \right]^2 + \dots + \left[ \frac{\partial q}{\partial X_k} e_k \right]^2$$

où  $e_1, e_2, \dots, e_k$  sont les erreurs limites absolues sur  $X_1, X_2, \dots, X_k$ , respectivement.

Comme les conditions d'écoulement peuvent grandement varier, il n'est pas possible d'admettre que l'estimation du débit aura une erreur limite inférieure à une valeur donnée. Il est toutefois possible de donner un ordre de grandeur des erreurs qui peuvent advenir dans la plupart des cas.

##### 9.1 Erreur limite due à la dissymétrie

L'erreur limite relative  $E_Y$  correspondante est donnée par des équations à l'annexe F, selon le nombre de rayons le long desquels sont faites les explorations.

##### 9.2 Erreur limite due à la giration

L'erreur limite sur l'évaluation du débit qu'entraîne la présence d'une giration dépendra de l'appareil et de la méthode utilisés. On ne dispose cependant que de peu d'informations quant à l'influence du caractère giratoire de l'écoulement sur les tubes de Pitot doubles et sur les moulinets.

Dans le cas où l'on utilise des tubes de Pitot doubles selon la méthode A (7.3.1) il y aura une première cause d'erreur due à la détermination de la réponse directionnelle de la sonde et une autre cause d'erreur due au fait qu'utiliser un tube de Pitot double en écoulement giratoire n'équivaut pas exactement à incliner un tube de Pitot double dans un écoulement parallèle, comme c'était le cas dans l'installation utilisée pour déterminer cette réponse.

Dans le cas où l'on utilise des tubes de Pitot doubles selon la méthode B (7.3.2) la principale source d'erreur due à la giration vient des dimensions non négligeables de la sonde et donc de l'effet du gradient transversal des vitesses.

Dans le cas où l'on utilise des moulinets, on retrouve les mêmes sources d'erreur que pour les tubes de Pitot doubles aggravées par le fait que les conditions d'étalonnage directionnel d'un moulinet, qui se fait le plus souvent par traînage en eau morte, s'écartent encore plus de ses conditions d'utilisation.

Dans tous les cas, on admettra que l'erreur limite relative  $E_s$  due à la giration augmente avec l'angle de celle-ci. En l'absence de données plus précises et pour les besoins de la présente Norme internationale, on doit prendre  $E_s$  égale à  $\pm 5\%$  de la valeur maximale (exprimée en degrés) de l'angle de giration dans la section de mesure. Pour les angles de giration au delà de  $20^\circ$ , l'évaluation de cette erreur limite est elle-même moins sûre.

### 9.3 Erreur limite due à la turbulence

Dans les écoulements giratoires ou dissymétriques, le niveau de turbulence est souvent plus élevé que ce n'est généralement le cas dans les écoulements réguliers envisagés dans l'ISO 3354 ou l'ISO 3966; ceci a pour effet d'accroître l'erreur limite due à cette source d'erreur.

Pour les tubes de Pitot doubles, après avoir minoré le débit mesuré comme indiqué au chapitre 8, la valeur de l'erreur limite relative  $E_T$  due à la turbulence doit être prise égale à la correction appliquée (c'est-à-dire comprise entre  $\pm 1$  et  $\pm 2\%$  suivant les conditions de mesurage).

Pour les moulinets, les composantes axiale et transversale de la turbulence ont sur les hélices habituellement utilisées des effets opposés qui peuvent partiellement se compenser (voir annexe E). Il est donc possible que la turbulence introduise une erreur plus faible sur les résultats obtenus avec des moulinets que sur ceux obtenus avec des tubes de Pitot. Cependant, à titre de précaution, la valeur de l'erreur limite relative  $E_T$  doit être prise également entre  $\pm 1$  et  $\pm 2\%$ , suivant les conditions de mesurage.

### 9.4 Erreur limite globale

Les méthodes de calcul de l'erreur limite globale sur une mesure de débit par la méthode d'exploration du champ des vitesses, au moyen de moulinets ou de tubes de Pitot doubles, sont décrites dans l'ISO 3354, paragraphe 11.6 et l'ISO 3966, paragraphe 12.6, respectivement.

De plus, en écoulement giratoire ou dissymétrique, il faut prendre en compte de la manière suivante les erreurs limites énumérées en 9.1 à 9.3 ci-dessus.

— L'erreur limite due à la turbulence a déjà été prise en compte dans l'équation pour le calcul de l'erreur limite sur les vitesses locales (voir ISO 3354, sous-paragraphe 11.6.1, ou ISO 3966, sous-paragraphe 12.6.1), mais la valeur à introduire dans cette équation devra évidemment être choisie conformément à 9.3.

— Les erreurs limites dues à la dissymétrie et/ou à la giration doivent être combinées quadratiquement aux autres erreurs limites composantes figurant déjà dans l'équation pour le calcul de l'erreur limite globale sur la mesure du débit (voir ISO 3354, sous-paragraphe 11.6.2, ou ISO 3966, sous-paragraphe 12.6.2). Selon les conditions de l'écoulement, il faudra tenir compte de l'une ou de l'autre de ces sources d'erreur ou des deux.

Comme il a été dit précédemment, il n'est pas possible de spécifier des valeurs précises des différentes erreurs limites en jeu. Cependant, à titre indicatif, l'erreur limite globale sur une mesure de débit en écoulement giratoire ou dissymétrique, effectuée conformément à la présente Norme internationale, sera généralement comprise entre  $\pm 2$  et  $\pm 4\%$ .

Une erreur limite plus élevée pourrait résulter de circonstances où la condition de vitesse radiale négligeable (voir chapitre 1) ne serait pas satisfaite.

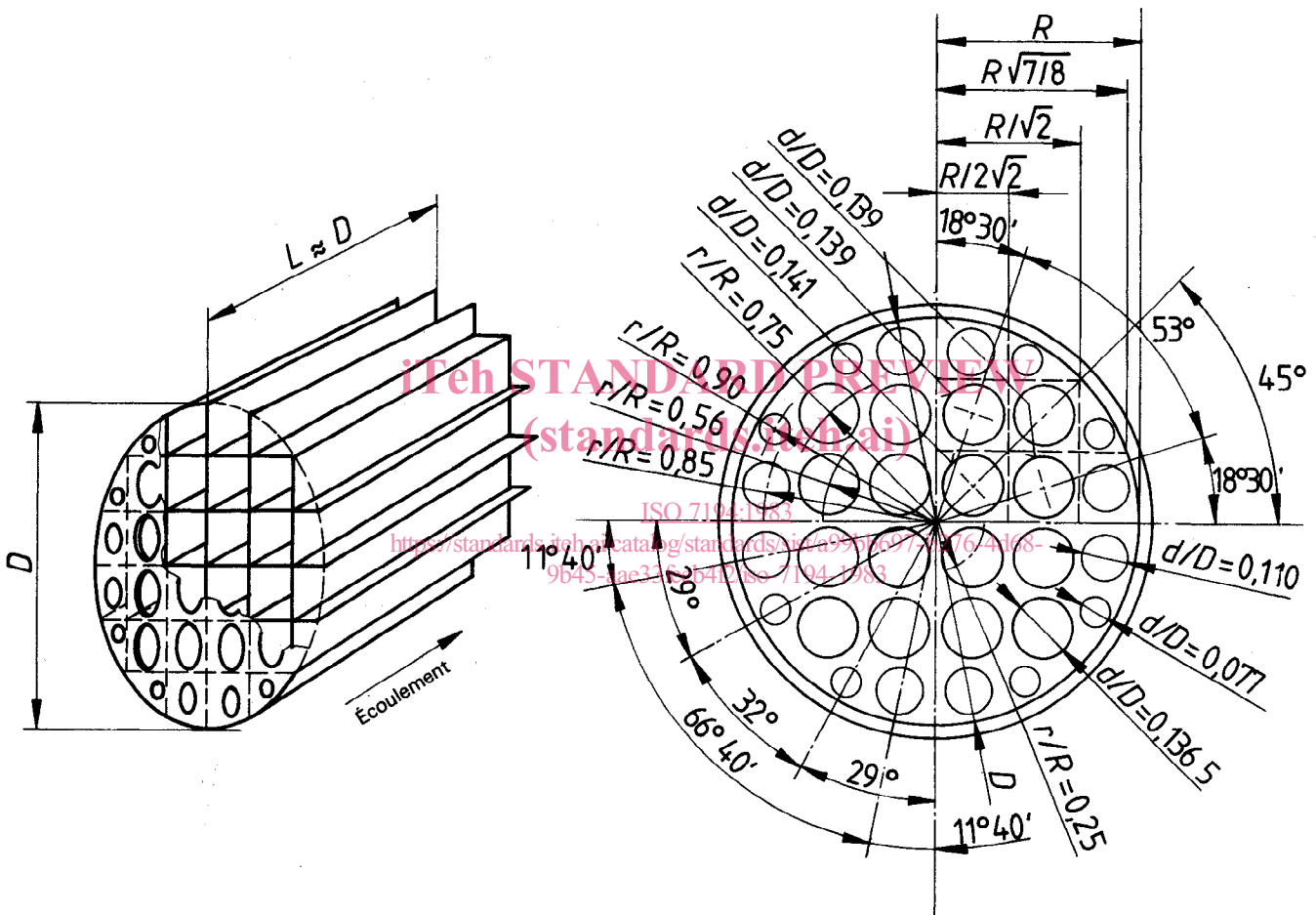


Figure 2 — Type A — Tranquilliseur Zanker