
Mesurage de débit d'eau propre dans les conduites fermées — Méthode d'exploration du champ des vitesses dans les conduites en charge et dans le cas d'un écoulement régulier, au moyen de moulinets

Measurement of clean water flow in closed conduits — Velocity-area method using current-meters in full conduits and under regular flow conditions

get full document from standards.iteh.ai



PDF – Exonération de responsabilité

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

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

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

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2008

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax. + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos.....	v
1 Domaine d'application.....	1
2 Références normatives	1
3 Termes, définitions et symboles	2
3.1 Termes et définitions.....	2
3.2 Symboles.....	3
4 Principe.....	4
4.1 Généralités	4
4.2 Mesurage de la section de jaugeage	5
4.3 Mesurage des vitesses locales	6
4.4 Emplacement et nombre de points de mesure dans la section.....	7
5 Description du moulinet.....	9
6 Conditions d'utilisation des moulinsets.....	9
6.1 Choix de la section de mesure	9
6.2 Dispositifs pour l'amélioration de l'écoulement.....	11
6.3 Étalonnage du moulinet	11
6.4 Limites d'utilisation	11
6.5 Contrôle et entretien du moulinet	13
7 Mise en place des moulinsets dans la conduite.....	13
7.1 Mise en place des moulinsets	13
7.2 Montage en section circulaire	14
7.3 Montage en section rectangulaire.....	14
8 Détermination de la vitesse débitante par détermination graphique du champ des vitesses.....	16
8.1 Généralités	16
8.2 Sections circulaires	16
8.3 Sections rectangulaires	18
9 Détermination de la vitesse débitante par intégration numérique du champ des vitesses.....	20
9.1 Généralités	20
9.2 Sections circulaires	21
9.3 Sections rectangulaires	22
10 Détermination de la vitesse débitante par les méthodes arithmétiques.....	23
10.1 Généralités	23
10.2 Méthode log-linéaire	23
10.3 Méthode log-Tchebycheff	25
11 Incertitude sur la mesure de débit	27
11.1 Généralités	27
11.2 Sources d'erreur dans le mesurage des vitesses locales.....	27
11.3 Sources d'erreur sur l'estimation du débit.....	28
11.4 Composition des erreurs	29
11.5 Présentation des résultats.....	29
11.6 Calcul de l'incertitude.....	30
Annexe A (normative) Sections de mesure de formes autres que circulaires et rectangulaires	33
Annexe B (normative) Corrections à apporter pour l'effet d'obstruction	38
Annexe C (normative) Recommandations pour le choix du type de moulinet et de perche-support.....	39

Annexe D (normative) Exemple de répartition des points de mesure le long d'un rayon pour le mesurage de la vitesse dans une conduite de section circulaire dans le cas des méthodes graphique et numérique	41
Annexe E (normative) Détermination du coefficient de couche limite, m, pour l'extrapolation au voisinage de la paroi.....	43
Annexe F (normative) Définition des termes et des méthodes utilisés dans l'analyse des erreurs.....	45
Annexe G (normative) Loi de t de Student.....	48
Annexe H (informative) Exemples de valeurs des incertitudes composantes.....	49
Annexe J (informative) Exemple du calcul de l'incertitude sur la mesure du débit à l'aide de moulinets	51

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

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

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

L'ISO 3354 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 30, *Mesurage de débit des fluides dans les conduites fermées*, sous-comité SC 5, *Méthodes de vitesse et massiques*.

Cette troisième édition résulte du rétablissement de l'ISO 3354:1988 qui a été annulée en 2003 et dont le contenu technique était identique.

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

Mesurage de débit d'eau propre dans les conduites fermées — Méthode d'exploration du champ des vitesses dans les conduites en charge et dans le cas d'un écoulement régulier, au moyen de moulinets

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie une méthode de détermination du débit-volume par exploration du champ des vitesses au moyen de moulinets à hélice dans une conduite fermée, dans les conditions suivantes:

- a) la répartition des vitesses doit être régulière (voir 6.1.2);
- b) le fluide doit être de l'eau propre¹⁾ ou considérée comme telle;
- c) la conduite doit être en charge;
- d) le régime doit être permanent²⁾.

Elle traite en particulier de la technologie et de l'étalonnage des moulinets, du mesurage des vitesses locales et du calcul du débit par intégration de ces vitesses.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 3455, *Hydrométrie — Étalonnage des moulinets en bassins découverts rectilignes*

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

ISO 5168, *Mesure de débit des fluides — Procédures pour le calcul de l'incertitude*

ISO 7194, *Mesurage de débit des fluides dans les conduites fermées — Mesurage 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*

1) Cette méthode est applicable à d'autres fluides monophasiques mais dans ce cas, des précautions particulières doivent être prises.

2) Les écoulements permanents observés dans les conduites sont, en pratique, des écoulements pour lesquels les grandeurs telles que vitesse, pression, masse volumique et température, varient dans le temps autour de valeurs moyennes indépendantes du temps; ce sont, en fait, des «écoulements permanents en moyenne».

3 Termes, définitions et symboles

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 4006 ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1 Termes et définitions

3.1.1

moulinet

appareil muni d'un rotor dont la vitesse de rotation est fonction de la vitesse locale du fluide dans lequel il est immergé

NOTE 1 La présente Norme internationale ne traite que des moulinets à hélice, c'est-à-dire des moulinets dont le rotor est constitué par une hélice tournant autour d'un axe sensiblement parallèle à l'écoulement.

NOTE 2 Cette définition n'interdit évidemment pas l'emploi d'hélices autocomposantes (voir 6.1.5), dont le mérite est précisément de pouvoir être utilisées sous une inclinaison relativement importante par rapport à la direction locale de l'écoulement. Par contre, l'emploi de moulinets à coupelles n'est pas autorisé dans le cadre de la présente norme.

3.1.2

batterie fixe

ensemble de moulinets montés sur un ou plusieurs supports fixes et explorant simultanément toute la section de mesure

3.1.3

débit pariétal

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

3.1.4

vitesse débitante

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

3.1.5

vitesse relative

rapport de la vitesse de l'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

3.1.6

longueur droite

tronçon de conduite dont l'axe est rectiligne et dont la surface et la forme de la section droite sont constantes; la forme de cette section est généralement circulaire ou rectangulaire, mais peut être annulaire ou de toute autre forme régulière

3.1.7

singularité

tout élément ou configuration d'une conduite qui fait que cette conduite n'a pas une longueur droite ou qui entraîne une variation très importante de rugosité à la paroi

NOTE Dans le cadre de la présente Norme internationale, les singularités qui créent les perturbations les plus gênantes pour le mesurage sont généralement les coudes, les robinets et vannes, les élargissements brusques, etc.

3.1.8

diamètre hydraulique

diamètre égal à quatre fois le rayon hydraulique, c'est-à-dire quatre fois le quotient de l'aire de la section mouillée par le périmètre mouillé

EXEMPLE Pour une conduite en charge de section circulaire, le diamètre hydraulique est donc égal au diamètre géométrique.

3.1.9**indice de dissymétrie**

(pour les conduites circulaires) quotient de l'écart-type des vitesses moyennes calculées le long de chaque rayon (c'est-à-dire de chaque ligne radiale allant du centre de la conduite à la paroi le long de laquelle sont situés les points de mesure de la vitesse) par la vitesse débitante dans la conduite, soit:

$$Y = \frac{\sigma_{U_i}}{U} = \frac{1}{U} \left[\frac{\sum_{i=1}^n (U_i - U)^2}{n-1} \right]^{1/2}$$

où

U_i est la vitesse moyenne calculée conformément à la méthode d'intégration retenue, à partir des vitesses mesurées en chaque point du rayon i (voir 8.2 et 9.2);

U est la vitesse débitante calculée à partir de toutes les vitesses locales mesurées dans la section;

n est le nombre de rayons le long desquels sont faites les mesures.

3.1.10**répartition régulière des vitesses**

répartition des vitesses s'approchant suffisamment d'une répartition pleinement établie pour permettre une mesure précise du débit

3.2 Symboles

Symbole	Grandeur	Dimension	Unité SI
A	aire de la section de mesurage	L^2	m^2
a, a'	distance à la paroi la plus proche du point de mesurage extrême, le long d'une droite de mesurage en section rectangulaire	L	m
D	diamètre de la conduite	L	m
d	diamètre de l'hélice	L	m
e	incertitude (valeur absolue)	a	a
e_r	incertitude aléatoire	a	a
e_s	incertitude systématique	a	a
E	incertitude relative	—	—
E_r	incertitude aléatoire relative	—	—
E_s	incertitude systématique relative	—	—
H	côté court de la section d'une conduite rectangulaire	L	m
h	distance d'un point de mesure à la paroi d'origine, parallèlement au côté court	L	m
k	rugosité uniforme équivalente	L	m
L	côté long de la section d'une conduite rectangulaire	L	m
l	distance d'un point de mesure à la paroi d'origine, parallèlement au côté long	L	m
m	coefficient de couche limite	—	—

Symbole	Grandeur	Dimension	Unité SI
n	fréquence de rotation de l'hélice	T^{-1}	r/s
p	nombre de points de mesurage sur un rayon (section circulaire) ou sur une droite (section rectangulaire)	—	—
q_V	débit-volume	L^3T^{-1}	m ³ /s
R	rayon de la conduite	L	m
r	rayon d'une circonférence de mesurage	L	m
r^*	rayon relatif d'une circonférence de mesurage $r^* = r/R$	—	—
Re	nombre de Reynolds	—	—
U	vitesse débitante	LT^{-1}	m/s
u	vitesse moyenne le long d'une circonférence ou d'une droite de mesurage	LT^{-1}	m/s
v	vitesse locale du fluide	LT^{-1}	m/s
v_0	vitesse locale au centre de la conduite	LT^{-1}	m/s
Y	indice de dissymétrie de l'écoulement	—	—
y	distance d'un point de mesurage à la paroi la plus proche	L	m
y^*	intervalle relatif entre deux points de mesurage $y^* = (l_i - l_{i-1})/L$	—	—
α	angle polaire d'un point de mesurage (en section circulaire)	—	rad
λ	coefficient universel de perte de charge	—	—

^a Les dimensions et unités sont celles de la grandeur considérée.

4 Principe

4.1 Généralités

Le principe de la méthode consiste

- à mesurer les dimensions de la section de jaugeage qui aura été choisie perpendiculairement à l'axe de la conduite; ce mesurage a pour but de définir l'aire de cette section (voir 4.2),
- à définir dans cette section la position des points de mesurage, qui devront être choisis en nombre suffisant pour connaître la répartition des vitesses de façon satisfaisante (voir 4.3),
- à mesurer la composante axiale de la vitesse en ces points de mesure,
- à déterminer la vitesse débitante à partir des mesures précédentes,
- à calculer le débit-volume égal au produit de l'aire de la section par la vitesse débitante.

Toutefois, pour certaines sections de forme particulière, le traitement des mesures conduit directement à la détermination du débit sans passer par la détermination préalable de l'aire de la section et de la vitesse débitante (voir Annexe A).

L'erreur que l'on commet en utilisant la méthode d'exploration du champ des vitesses dépend, entre autres facteurs, de la forme du profil des vitesses ainsi que du nombre et de l'emplacement des points de mesure.

La méthode de mesure et les exigences définies dans la présente Norme internationale visent à obtenir une incertitude (au niveau de probabilité de 95 %) sur le débit au plus égale à ± 2 %, à condition que la correction correspondant à l'effet d'obstruction (voir 6.4.3 et Annexe B), ait été apportée.

Ceci suppose toutefois que l'écoulement ne présente ni giration ni dissymétrie excessives; on trouvera en 6.1.2 des critères permettant de juger si l'écoulement est suffisamment régulier pour que la présente Norme internationale soit applicable et que l'incertitude reste dans la gamme requise. Dans le cas contraire, on se référera à l'ISO 7194.

Quand certaines conditions mentionnées dans la présente Norme internationale ne sont pas satisfaites, la méthode reste généralement applicable, mais l'incertitude sur le débit est alors plus grande.

Par ailleurs, seuls sont traités dans la présente Norme internationale les cas des sections circulaires et rectangulaires qui couvrent la très grande majorité des cas pratiques. On trouvera cependant à l'Annexe A, des indications sur la façon d'opérer dans certaines sections de forme plus particulière.

La présente Norme internationale expose trois types suivants de méthodes de détermination de la vitesse débitante.

4.1.1 Intégration graphique du champ des vitesses (voir Article 8)

Cette méthode consiste à tracer sur un graphique le profil des vitesses et à le planimétrer dans la région de la conduite limitée par les points de mesure les plus proches de la paroi. À la valeur ainsi obtenue, on ajoute un terme correspondant au débit pariétal (voir 3.1.3) calculé à partir de l'hypothèse que le profil des vitesses dans cette zone suit une loi de puissance.

Dans cette méthode, les points de mesure peuvent être placés librement, mais doivent permettre une connaissance satisfaisante du champ des vitesses.

4.1.2 Intégration numérique du champ des vitesses (voir Article 9)

La seule différence entre cette méthode et la précédente (4.1.1) consiste dans le fait que le graphique du profil des vitesses est remplacé par une courbe algébrique et que l'intégration est effectuée de manière analytique.

4.1.3 Méthodes arithmétiques (voir Article 10)

Les méthodes arithmétiques supposent que la répartition des vitesses suit une loi particulière; la vitesse moyenne dans la conduite est alors donnée par une combinaison linéaire des vitesses individuelles mesurées en des points dont la position est spécifiée par la méthode.

Les méthodes arithmétiques décrites dans l'Article 10 admettent, dans la zone pariétale, une loi logarithmique de répartition des vitesses en fonction de la distance à la paroi.

4.2 Mesurage de la section de jaugeage

4.2.1 Sections circulaires

Le diamètre moyen de la conduite est pris égal à la moyenne arithmétique des mesures obtenues suivant au moins quatre diamètres de la section de jaugeage faisant entre eux des angles sensiblement égaux. Si la différence entre les longueurs de deux diamètres successifs est supérieure à 0,5 %, le nombre de diamètres mesurés doit être doublé.

4.2.2 Sections rectangulaires

Le côté long et le côté court de la section rectangulaire doivent être mesurés sur au moins chaque droite passant par les points de mesure. Si la différence entre les largeurs (ou les hauteurs) correspondant à deux droites de mesure consécutives est supérieure à 1 %, le nombre de largeurs (ou de hauteurs) mesurées doit être doublé.

4.3 Mesurage des vitesses locales

4.3.1 Généralités

La vitesse de l'écoulement en un point de la section de jaugeage est déterminée en mesurant la vitesse de rotation d'un moulinet placé en ce point et en portant cette valeur dans l'équation d'étalonnage du moulinet.

La vitesse de rotation du moulinet peut être obtenue

- soit en comptant le nombre de tours accomplis par l'hélice en un temps prédéterminé,
- soit en mesurant le temps nécessaire pour que l'hélice accomplisse un nombre de tours prédéterminé.

Une autre méthode qui peut être utilisée est celle suivant laquelle la mesure de la vitesse est obtenue par mesurage direct de la fréquence du signal.

Les différents points de mesure dans la section peuvent être explorés simultanément ou successivement (voir 4.3.2 et 4.3.3).

4.3.2 Mesurages simultanés

Lorsqu'on emploie simultanément plusieurs moulinets, la méthode par comptage du temps nécessite un appareillage de comptage plus complexe que la méthode par comptage du nombre des tours, mais elle est plus précise. En effet, on commet avec celle-ci une erreur due à l'intervalle de temps choisi qui peut ne pas correspondre à un nombre entier de tours.

Les vitesses locales étant généralement sujettes à des fluctuations de longue période, il est nécessaire de prévoir une durée de mesure suffisante pour déterminer correctement la vitesse moyenne. Cette durée pourra être fixée en mesurant un même débit avec des temps successivement croissants. La durée de mesure, t , à adopter doit être telle que les valeurs de la vitesse moyenne dans la section, obtenues avec des temps de mesurage t et $t + \Delta t$, ne diffèrent pas entre elles de plus de x %. Par exemple, Δt , pourra être de l'ordre de 30 s, et x pourra être choisi égal à 0,1 %. Le temps t peut être variable selon la vitesse moyenne de l'écoulement.

4.3.3 Mesurages non simultanés

Dans le cas où tous les points de mesure des vitesses ne sont pas explorés simultanément, il est essentiel que la forme du profil des vitesses dans la section de jaugeage reste stable et ne soit pas affectée par les variations éventuelles du débit pendant tout le temps du mesurage. On devra alors vérifier que l'écoulement est permanent, et éventuellement corriger les vitesses ponctuelles, à l'aide d'un mesurage continu pendant toute la durée du jaugeage, de la vitesse en un point de référence.

Si l'on ne dispose que d'un seul dispositif de mesure, il y a lieu de s'assurer que l'écoulement est permanent en réitérant fréquemment le mesurage au point de référence.

Cependant, il faut signaler que des fluctuations du profil des vitesses peuvent se produire sans que cela entraîne des fluctuations du débit. Dans un tel cas, l'emploi d'une vitesse ponctuelle de référence peut entraîner des erreurs et il est préférable de contrôler que le débit est permanent à l'aide de tout dispositif déprimogène (appareil déprimogène, normalisé ou non, contrôle piézométrique sur un convergent, un coude, une bêche spirale, un dispositif indicateur de perte de charge singulière, etc.), même non étalonné, pourvu que l'on soit assuré de sa fidélité et d'une sensibilité suffisante.

Ayant tracé la courbe de variation de la vitesse de référence, v_r , en fonction du temps, on utilisera cette courbe pour ramener toutes les mesures d'exploration à un même débit de référence q_0 (de préférence celui qui correspond à la moyenne des mesures de référence). Pour des variations relativement faibles de la vitesse de référence, on peut transposer la vitesse $v_{i,t}$, mesurée en un point quelconque i à l'instant t , en la multipliant par le rapport entre la vitesse de référence $v_{r,0}$ correspondant au débit q_0 et la vitesse de référence $v_{r,t}$ à l'instant t :

$$v_{i,0} = v_{i,t} \left(\frac{v_{r,0}}{v_{r,t}} \right)$$

où $v_{i,0}$ est la vitesse au point i à utiliser pour l'intégration.

4.3.4 Contrôle de la répartition des vitesses

Même lorsque la vitesse débitante est calculée par une méthode qui ne nécessite pas de tracer le profil des vitesses, il est recommandé, afin de s'assurer que la répartition des vitesses est régulière, de procéder à ce tracé ou, à défaut, d'en contrôler la régularité de toute autre manière.

De la même façon, quand on effectue plusieurs mesurages dans une 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 3.1.5)], afin de vérifier leur bonne concordance et s'assurer ainsi qu'il n'existe pas de profils anormaux pour certains débits (les profils ne doivent pas varier de manière erratique, quand le débit varie, pour une large gamme de nombre de Reynolds).

Il peut également être utile de tracer les courbes de répartition des vitesses comme indiqué ci-dessus afin de déceler une erreur éventuelle dans la mesure d'une vitesse locale. Si cela est possible, le mesurage suspecté doit être recommencé, sinon, il doit être éliminé et le profil des vitesses tracé sur la base des profils obtenus précédemment pourvu qu'il y ait des raisons indépendantes de penser que cette mesure suspectée est fausse.

get full document from standards.iteh.ai

4.4 Emplacement et nombre de points de mesure dans la section

4.4.1 Généralités

La position des points de mesure dépend de la méthode choisie pour calculer le débit. Les règles relatives aux méthodes spécifiées dans la présente Norme internationale sont données dans les Articles 8, 9 et 10, respectivement.

Quelle que soit la méthode, les règles dimensionnelles suivantes doivent être respectées:

- distance minimale entre l'axe du moulinet et la paroi: $0,75d$;
- entraxe minimal entre deux moulinets: $(d_1 + d_2)/2 + 0,03$ m, d_1 et d_2 étant les diamètres extérieurs de l'hélice des moulinets.

NOTE d_1 et d_2 sont le plus souvent égaux, mais il peut être utile de placer au voisinage de la paroi des hélices de plus faible diamètre afin d'explorer le mieux possible l'écoulement dans cette zone (voir Article 8).

Le positionnement du moulinet doit être mesuré avec une incertitude égale à la plus petite des valeurs suivantes:

- $\pm 0,01 L$, L étant la dimension de la conduite parallèlement à la mesure du positionnement du moulinet;
- $\pm 0,02 y$, y étant la distance du moulinet à la paroi la plus proche.

4.4.2 et 4.4.3 spécifiant un nombre minimal de points de mesure s'appliquent particulièrement à des conduites de petites dimensions. Compte tenu du besoin de connaître le mieux possible le profil des vitesses, le nombre de points de mesure sera avantageusement accru dans la mesure où les règles dimensionnelles ci-dessus le permettent et où cela n'entraîne pas d'effet d'obstruction sensible (voir 6.4.3).

Quand on utilise un seul moulinet pour l'exploration de la conduite, on doit tout d'abord déterminer la distance entre un point de référence (à partir duquel on mesure chaque position) et la paroi de la conduite. Cela peut introduire une erreur systématique relativement grande pour tous les mesurages de positionnement. Dans ces circonstances, il est recommandé, dans le cas d'une conduite de section circulaire, d'explorer des diamètres complets (plutôt que des rayons opposés sur chaque diamètre), car l'erreur systématique tendra ainsi à s'annuler sur les deux moitiés de l'exploration.

Cependant, les problèmes dus à l'obstruction et aux vibrations peuvent s'avérer plus graves lorsque l'exploration est effectuée sur un diamètre complet.

4.4.2 Sections circulaires

Les points de mesure dans les sections circulaires doivent être situés aux intersections d'un nombre donné de circonférences centrées sur l'axe de la conduite et d'un nombre donné de diamètres d'égal espacement angulaire.

Les nombres minimaux recommandés dans le cadre de la présente Norme internationale sont de trois circonférences et de deux diamètres perpendiculaires entre eux (voir dernier alinéa), de sorte que le nombre minimal de points de mesure dans la section soit de 12. Un point de mesure supplémentaire au centre de la conduite est souhaitable pour vérifier la forme du profil des vitesses.

Cependant, ce nombre minimal n'est acceptable que si l'une des deux conditions suivantes est remplie:

- si on a la quasi-certitude que la répartition des vitesses est très proche d'une répartition axi-symétrique, soit du fait du tracé de la conduite, soit à la suite de mesurages effectués précédemment dans la même section, ou
- si la mise en place d'un nombre plus élevé de diamètres entraîne une obstruction rédhibitoire de la section de mesure (voir 6.4.3).

Dans le cas contraire, il faudra procéder à une exploration plus serrée du champ des vitesses, par exemple en portant à trois le nombre des diamètres. Il faut en effet souligner que, le plus souvent, l'incertitude sur la mesure du débit sera davantage réduite en augmentant le nombre de rayons sur lesquels les mesurages sont faits, plutôt qu'en augmentant le nombre de points par rayon; il n'y aurait cependant guère d'intérêt à dépasser le nombre de quatre diamètres.

Quand les mesurages sont faits au moyen d'une batterie fixe, on se référera à 6.4.4 pour le diamètre minimal des conduites dans lesquelles cette méthode est applicable; mais, en tout état de cause, les exigences générales données en 4.4.1 relatives à l'espacement des moulinets conduisent à interdire l'emploi d'une batterie fixe dans les conduites de diamètre inférieur à $7,5d + 0,18$ m.

Si l'on ne recherche pas une grande exactitude, on peut effectuer les mesurages le long d'un seul diamètre, à condition qu'il y ait une longueur droite d'au moins $60D$ en amont de la section de mesure et que le nombre de Reynolds soit supérieur aux valeurs données dans le Tableau 1, pour les valeurs correspondantes du coefficient universel de perte de charge λ (pour l'évaluation de λ , voir Annexe E).

Tableau 1 — Nombre de Reynolds minimal en fonction du coefficient universel de perte de charge, λ

λ	Re_D
$\geq 0,03$	10^4
0,025	3×10^4
0,02	10^5
0,01	10^6

4.4.3 Sections rectangulaires

Le nombre de points de mesure doit être au minimum de 25. À moins que l'on ne doive adopter une disposition spéciale des points de mesure pour utiliser une méthode arithmétique, leur emplacement doit être défini par les intersections d'au moins cinq droites parallèles à chacune des parois de la conduite.

NOTE Quand les mesurages sont faits au moyen d'une batterie fixe, on se référera à 6.4.4 pour les dimensions minimales des conduites dans lesquelles cette méthode est applicable; en tout état de cause, les exigences générales données en 4.4.1, relatives à l'espacement des moulinets, conduisent à interdire l'emploi d'une batterie fixe dans les conduites dont la plus petite dimension est inférieure à $5,5d + 0,12$ m.

5 Description du moulinet

Le moulinet à hélice se compose d'une hélice, d'un axe de rotation, de paliers et du corps du moulinet avec le dispositif de comptage.

Chaque moulinet peut être équipé d'hélices de différents types (pas, diamètre). L'hélice comporte deux pales ou plus, et elle peut être fabriquée en métal ou en matière plastique.

Les moulinets pour mesurages in situ doivent être fabriqués entièrement en matériau inoxydable ou bien être protégés de façon efficace contre la corrosion. Ils doivent être de construction suffisamment robuste pour que leur étalonnage reste valable dans les conditions normales de fonctionnement in situ.

Les pièces détachées doivent être interchangeables pour permettre un remplacement aisé des parties usées ou endommagées, mais ce remplacement ne doit pas accroître l'incertitude de mesure.

Les signaux peuvent être émis par un contact mécanique ou un moyen magnétique, électrique ou optique. Ils sont totalisés ou enregistrés sur un récepteur approprié, ou indiqués par un dispositif acoustique ou optique.

Le comptage doit être précis et sûr pour n'importe quelle vitesse comprise dans les limites d'emploi définies par le constructeur. Le nombre de signaux délivrés par révolution de l'hélice doit être compatible avec les vitesses à mesurer, la conception du récepteur utilisé et un temps de mesure acceptable. Dans certains cas, il sera donc nécessaire de pouvoir choisir le nombre de signaux par tour d'hélice.

Des dispositifs doivent être prévus pour fixer le moulinet sur une perche dans une position bien déterminée.

6 Conditions d'utilisation des moulinets

6.1 Choix de la section de mesure

6.1.1 La section choisie pour effectuer les mesurages doit être située dans un alignement droit; elle doit être perpendiculaire à la direction de l'écoulement et de forme géométrique simple, par exemple circulaire ou rectangulaire. La section de mesure doit être située dans une zone où les vitesses locales de l'écoulement se trouvent dans la gamme normale d'utilisation des moulinets employés (voir 6.4.2).

6.1.2 Au voisinage de la section de mesure, l'écoulement doit pouvoir être considéré comme «régulier», c'est-à-dire qu'il doit être sensiblement parallèle et symétrique par rapport à l'axe de la conduite et qu'il ne doit présenter ni turbulence excessive ni giration. On pourra pour cela se référer à l'ISO 7194.

On admettra que l'écoulement est suffisamment régulier pour autoriser l'emploi de la présente Norme internationale si les deux conditions suivantes sont satisfaites:

- a) en tout point de la section, l'angle de giration doit être inférieur ou égal à 5° ;
- b) l'indice de dissymétrie Y (tel que défini en 3.1.9) doit être inférieur ou égal à 0,05.