

ISO

ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION

RECOMMANDATION ISO

R 541

MESURE DE DÉBIT DES FLUIDES
AU MOYEN DE DIAPHRAGMES ET DE TUYÈRES

— 1^{ère} ÉDITION —

Janvier 1967

REPRODUCTION INTERDITE

Le droit de reproduction des Recommandations ISO et des Normes ISO est la propriété des Comités Membres de l'ISO. En conséquence, dans chaque pays, la reproduction de ces documents ne peut être autorisée que par l'organisation nationale de normalisation de ce pays, membre de l'ISO.

Seules les normes nationales sont valables dans leurs pays respectifs.

Imprimé en Suisse

Ce document est également édité en anglais et en russe. Il peut être obtenu auprès des organisations nationales de normalisation.

HISTORIQUE

La Recommandation ISO/R 541, *Mesure de débit des fluides au moyen de diaphragmes et de tuyères*, a été élaborée par le Comité Technique ISO/TC 30, *Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées*, dont le Secrétariat est assuré par l'Association Française de Normalisation (AFNOR).

Les travaux relatifs à cette question furent entrepris en 1948 par le Comité Technique qui prit en considération les études qui avaient été effectuées par l'Ancienne Fédération Internationale des Associations Nationales de Normalisation (ISA). Les travaux aboutirent en 1962 à l'adoption d'un Projet de Recommandation ISO.

En février 1963, ce Projet de Recommandation ISO (N° 532) fut soumis à l'enquête de tous les Comités Membres de l'ISO. Il fut approuvé, sous réserve de quelques modifications d'ordre rédactionnel, par les Comités Membres suivants :

Allemagne	Inde	Suisse
Australie	Iran	Tchécoslovaquie
Autriche	Italie	Royaume-Uni
Belgique	Japon	U.S.A.
Chili	Pays-Bas	U.R.S.S.
France	Portugal	
Hongrie	Suède	

Aucun Comité Membre ne se déclara opposé à l'approbation du Projet.

Le Projet de Recommandation ISO fut alors soumis par correspondance au Conseil de l'ISO, qui décida, en janvier 1967, de l'accepter comme RECOMMANDATION ISO.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/R 541:1967

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/ca696847-e913-4709-840f-71eacfe12097/iso-r-541-1967>

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
1. Généralités	5
1.1 Principe de la méthode de mesure	5
1.2 Eléments primaires normaux	5
2. Conditions générales de validité des mesures	5
2.1 Elément primaire	5
2.2 Nature du fluide	6
2.3 Installation	6
2.4 Longueurs droites	7
3. Symboles et définitions	9
3.1 Symboles	9
3.2 Mesure de la pression: Définitions	10
3.3 Eléments primaires: Définitions	10
3.4 Ecoulement	10
4. Calcul — Formules	12
4.1 Formule de base	12
4.2 Méthode de détermination d'un élément primaire normal	12
4.3 Calcul du débit	12
5. Erreurs	12
5.1 Définition de l'écart à craindre	12
5.2 Définition de l'écart-type	13
5.3 Calcul pratique de l'écart-type	13
5.4 Méthode générale	15
5.5 Erreurs dues aux conditions d'installation	15
6. Diaphragmes	15
6.1 Description	15
6.2 Prises de pression	19
6.3 Mise en place du diaphragme	22
6.4 Coefficients et écarts-types des diaphragmes à prises de pression dans les angles	23
6.5 Coefficients et écarts-types des diaphragmes à prises de pression <i>vena contracta</i>	27
6.6 Coefficients et écarts-types des diaphragmes à prises de pression à la bride	30
6.7 Perte de charge $\Delta\tilde{\omega}$	32
7. Tuyères	33
7.1 Tuyère ISA 1932	33
7.2 Tuyères à long rayon	38

MESURE DE DÉBIT DES FLUIDES AU MOYEN DE DIAPHRAGMES ET DE TUYÈRES

1. GÉNÉRALITÉS

1.1 Principe de la méthode de mesure

On interpose sur le passage d'un fluide s'écoulant dans une tuyauterie un appareil tel qu'un diaphragme ou une tuyère.

Il existe alors une différence de pression statique du fluide entre l'amont de l'appareil et l'aval, et l'on peut déduire la valeur du débit de la valeur mesurée de cette différence de pression et de la connaissance des circonstances d'emploi de l'appareil, lorsque l'appareil est géométriquement semblable à l'un de ceux ayant fait antérieurement l'objet de tarages directs, et semblablement utilisé.

La présente Recommandation ISO décrit la forme et le mode d'emploi de certains de ces appareils, pour lesquels des expériences de tarage direct ont été effectuées en nombre et en qualité suffisants pour que l'on ait pu baser sur leurs résultats des systèmes cohérents d'utilisation.

Les dispositifs interposés dans la tuyauterie sont appelés « éléments primaires », en comprenant dans ce terme les prises de pression, cependant que l'on appelle « appareils secondaires » tous les autres instruments ou dispositifs nécessaires à l'accomplissement de la mesure. La présente Recommandation ISO concerne les éléments primaires, et il n'y est fait mention qu'exceptionnellement des appareils secondaires.

1.2 Eléments primaires normaux

Les éléments primaires normaux sont les suivants: —

1.2.1 *Le diaphragme*, orifice à arête vive rectangulaire en plaque mince, avec lequel sont utilisés divers types de prises de pression, appelés

- prises dans les angles,
- prises *vena contracta*,
- prises à la bride.

1.2.2 *Les tuyères*, qui diffèrent entre elles par leurs formes et/ou l'emplacement des prises de pression, appelées

- tuyère ISA 1932,
- tuyère à long rayon.

2. CONDITIONS GÉNÉRALES DE VALIDITÉ DES MESURES

Il est nécessaire de s'assurer que les conditions énumérées ci-dessous, et dont certaines sont précisées aux chapitres suivants, sont toutes complètement satisfaites pendant la durée des mesures.

2.1 Élément primaire

- 2.1.1 L'élément primaire doit être construit, installé et utilisé d'une façon conforme à cette Recommandation ISO.
- 2.1.2 Son bon état doit être vérifié après chaque mesure ou après chaque série de mesures.
- 2.1.3 Il est nécessaire d'utiliser pour la construction, des matériaux dont le coefficient de dilatation thermique est connu.

2.2 Nature du fluide

- 2.2.1 Le fluide peut être compressible (gaz) ou considéré comme non compressible (liquide).
- 2.2.2 Le fluide doit être homogène physiquement et thermiquement et se comporter en phase unique, gazeuse ou liquide.
- Les solutions colloïdales très dispersées (le lait, par exemple), et celles-là seules, sont considérées comme constituées d'une phase unique.

2.3 Installation

- 2.3.1 Le procédé de mesure ne s'applique qu'aux fluides s'écoulant dans une tuyauterie.
- 2.3.2 L'élément primaire est installé entre deux longueurs droites de tuyauterie cylindrique de section constante, ne comportant aucun obstacle, ni aucune dérivation (même où le fluide ne s'écoule pas pendant la mesure de débit), autres que ceux qui sont désignés par cette Recommandation ISO.

La tuyauterie est considérée comme rectiligne lorsqu'elle semble telle à la simple inspection visuelle.

Les longueurs droites minimales nécessaires, conformes à la description précédente, varient suivant la nature des accessoires qui les limitent et sont indiquées au Tableau 1, page 7.

Tout le long des parties droites minimales nécessaires, la tuyauterie est de section droite intérieure circulaire.

La section droite est déclarée circulaire lorsqu'elle semble telle à la simple inspection visuelle. L'aspect circulaire de la paroi extérieure peut servir d'indication, sauf au voisinage immédiat de l'élément primaire.

Sur une longueur d'au moins $2 D$, comptée vers l'amont à partir de la face amont de l'élément primaire, la tuyauterie doit être cylindrique. On prendra pour valeur D du diamètre de la tuyauterie, la moyenne des mesures d'un certain nombre de diamètres situés dans des plans méridiens faisant entre eux des angles approximativement égaux, et dans des sections droites différentes, réparties sur la longueur de $2 D$. Il est nécessaire de mesurer au moins quatre diamètres.

La tuyauterie est réputée cylindrique, lorsque aucun diamètre, dans quelque plan que ce soit, ne diffère de plus de 0,3 % de la valeur D du diamètre moyen.

L'attention est attirée sur le fait qu'il est possible de vérifier la circularité de l'alésage de la tuyauterie, avec la précision exigée, sans mesurer le diamètre moyen de l'alésage de la tuyauterie lui-même.

Le diamètre moyen de la longueur droite d'aval, sur une longueur d'au moins $2 D$ comptée à partir de la face amont de l'élément primaire, ne doit pas différer du diamètre moyen de la longueur droite d'amont de plus de $\pm 2\%$, ceci étant vérifié par la mesure d'un seul diamètre de la longueur droite d'aval.

- 2.3.3 Le diamètre intérieur de la tuyauterie de mesure doit être supérieur ou égal à 50 mm (2 in) et inférieur ou égal aux diamètres maximaux indiqués pour chaque appareil.
- 2.3.4 La tuyauterie de mesure présente une surface intérieure propre, sans incrustation, ni piquûre, ni dépôt. Elle peut être cependant intérieurement « lisse » ou « rugueuse ».
- 2.3.5 La tuyauterie doit être complètement remplie au droit de la section de mesure.
- 2.3.6 Le débit de l'écoulement doit être constant, ou bien, en pratique, ne varier que peu et lentement en fonction du temps. La mesure des débits pulsatoires n'est pas décrite dans cette Recommandation ISO.
- 2.3.7 Le passage du fluide dans l'élément primaire ne doit pas provoquer de changement de phase. Pour déterminer s'il y a un changement de phase, on conduira les calculs en faisant l'hypothèse que la détente est isentropique, si le fluide mesuré est un gaz, ou qu'elle est isotherme, s'il s'agit d'un liquide.

2.3.8 Si le fluide est gazeux, le rapport de la pression absolue aval à la pression absolue amont doit être supérieur à 0,75.

2.4 Longueurs droites

2.4.1 Les longueurs droites minimales à installer en amont et en aval d'un élément primaire, selon le paragraphe 2.3.2, sont les mêmes quel que soit le type d'élément primaire considéré, tel qu'il est décrit dans les paragraphes 1.2.1 et 1.2.2.

Les longueurs droites minimales d'amont et d'aval qu'il y a lieu d'installer entre différents accessoires et l'élément primaire sont données dans le Tableau 1 ci-dessous.

TABLEAU 1. — Longueurs droites minimales nécessaires entre divers accessoires situés en amont ou en aval de l'élément primaire et l'élément primaire lui-même

β	En amont de l'élément primaire							En aval
	Coude simple à 90° ou té (débit par une seule branche)	Deux ou plus de deux coudes à 90° coplanaires	Deux ou plus de deux coudes à 90° dans des plans différents	Réduction (2 D à D sur une longueur de 3 D) Evasement (0,5 D à D sur une longueur de 1,5 D)	Robinet à soupape grand ouvert	Robinet du type « vanne » grand ouvert	Tous accessoires cités dans ce Tableau	
≤ 0,20	10 (6)	14 (7)	34 (17)	16 (8)	18 (9)	12 (6)	4 (2)	
0,25	10 (6)	14 (7)	34 (17)	16 (8)	18 (9)	12 (6)	4 (2)	
0,30	10 (6)	16 (8)	34 (17)	16 (8)	18 (9)	12 (6)	5 (2,5)	
0,35	12 (6)	16 (8)	36 (18)	16 (8)	18 (9)	12 (6)	5 (2,5)	
0,40	14 (7)	18 (9)	36 (18)	16 (8)	20 (10)	12 (6)	6 (3)	
0,45	14 (7)	18 (9)	38 (19)	18 (9)	20 (10)	12 (6)	6 (3)	
0,50	14 (7)	20 (10)	40 (20)	20 (10)	22 (11)	12 (6)	6 (3)	
0,55	16 (8)	22 (11)	44 (22)	20 (10)	24 (12)	14 (7)	6 (3)	
0,60	18 (9)	26 (13)	48 (24)	22 (11)	26 (13)	14 (7)	7 (3,5)	
0,65	22 (11)	32 (16)	54 (27)	24 (12)	28 (14)	16 (8)	7 (3,5)	
0,70	28 (14)	36 (18)	62 (31)	26 (13)	32 (16)	20 (10)	7 (3,5)	
0,75	36 (18)	42 (21)	70 (35)	28 (14)	36 (18)	24 (12)	8 (4)	
0,80	46 (23)	50 (25)	80 (40)	30 (15)	44 (22)	30 (15)	8 (4)	
Accessoires					Longueur droite amont minimale nécessaire			
Brusque réduction symétrique de rapport de diamètres ≥ 0,5					30 (15)			
Poche à thermomètre de diamètre ≤ 0,03 D					5 (3)			
Poche à thermomètre de diamètre compris entre 0,03 D et 0,13 D					20 (10)			

NOTE. — Le Tableau 1 s'applique à tous les éléments primaires définis dans cette Recommandation ISO.

Les valeurs sans parenthèses sont des valeurs pour « une erreur à craindre supplémentaire nulle » (voir paragraphe 2.4.3).

Les valeurs entre parenthèses sont des valeurs pour « une erreur à craindre supplémentaire de ± 0,5% » (voir paragraphe 2.4.4).

Toutes les longueurs droites sont exprimées en multiples du diamètre D . Elles doivent être mesurées à partir de la face amont de l'élément primaire.

- 2.4.2 Les longueurs droites présentées dans le Tableau 1 sont des valeurs minimales et il est toujours recommandé de disposer de parties droites plus longues que celles qui sont indiquées. En particulier pour les travaux de recherche, il est recommandé de doubler au moins les valeurs amont données dans le Tableau 1 pour « une erreur à craindre supplémentaire nulle »*.
- 2.4.3 Lorsque les longueurs droites satisfont aux exigences du Tableau 1 et lorsqu'elles sont supérieures ou égales aux valeurs données pour « une erreur à craindre supplémentaire nulle »*, il n'y a pas lieu d'ajouter d'écart supplémentaire à l'erreur de la mesure de débit pour tenir compte d'un effet des conditions d'installation.
- 2.4.4 Lorsque les longueurs droites d'amont ou d'aval sont inférieures aux valeurs pour « une erreur à craindre supplémentaire nulle »*, tout en restant égales ou supérieures aux valeurs pour « une erreur à craindre supplémentaire de $\pm 0,5\%$ »**, telles qu'elles sont données dans le Tableau 1, un écart supplémentaire de $\pm 0,5\%$ doit être ajouté à l'erreur de la mesure de débit, de la manière suivante:
- Premier calcul* Calculer l'erreur à craindre de la mesure de débit considérée comme s'il n'existait pas d'erreur à craindre supplémentaire due aux conditions d'installation. Ce calcul doit être effectué comme il est indiqué au chapitre 5, traitant des erreurs. Soit $\pm 2 \sigma_q$, en pour-cent, le résultat de ce calcul.
- Deuxième calcul* Ajouter ensuite à cette valeur de l'erreur à craindre un écart supplémentaire de $\pm 0,5\%$. Cette addition doit être *arithmétique*, de sorte que le résultat final soit, en pour-cent, $\pm (2 \sigma_q + 0,5)$.
- Si les longueurs droites sont *inférieures* aux valeurs pour « une erreur à craindre supplémentaire de $\pm 0,5\%$ »**, données dans le Tableau 1, cette Recommandation ISO ne donne *aucun renseignement* permettant à quiconque d'estimer une valeur d'erreur à craindre supplémentaire à prendre en compte. Il en est de même lorsque les longueurs droites d'amont et d'aval sont *simultanément* inférieures aux valeurs pour « une erreur à craindre supplémentaire nulle »*.
- 2.4.5 Les robinets cités au Tableau 1 doivent être grand ouverts. On recommande d'effectuer le réglage par des robinets situés en aval de l'élément primaire. Les robinets d'arrêt situés à l'amont seront de préférence du type « vanne » et seront grand ouverts.
- 2.4.6 A la suite d'un changement de direction simple (coude ou té), il est recommandé d'installer les prises de pression (si ce sont des prises individuelles) dans le plan perpendiculaire au plan contenant le changement de direction (plan du coude ou du té).
- 2.4.7 Les valeurs données dans le Tableau 1 ont été obtenues expérimentalement en disposant d'une longueur droite très importante en amont de l'accessoire considéré. Habituellement, on ne dispose pas de telles conditions et les remarques suivantes peuvent être utilisées comme guide dans les cas pratiques d'installation.
- a) Si l'élément primaire est placé dans une tuyauterie le reliant à une enceinte ouverte ou à un grand récipient situé en amont, soit directement, soit par l'intermédiaire d'accessoires prévus au Tableau 1, la longueur totale de tuyauterie entre l'enceinte ouverte et l'élément primaire ne doit en aucun cas être inférieure à 30 D.

* Valeurs sans parenthèses dans le Tableau 1.

** Valeurs entre parenthèses dans le Tableau 1.

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

2.4.8 Pour des installations ne répondant pas aux conditions ci-dessus, l'élément primaire doit être taré dans ses conditions réelles d'utilisation.

3. SYMBOLES ET DÉFINITIONS

Les symboles utilisés dans cette Recommandation ISO sont donnés dans le Tableau 2 (paragraphe 3.1).

Les définitions, dans les paragraphes suivants, ne sont données que pour des termes employés dans un sens spécial ou pour des termes dont il semble utile de rappeler la signification.

3.1 Symboles

TABLEAU 2. — Symboles

Symboles	Grandeur désignée	Dimensions *
α	Coefficient de débit	Nombre pur
β	Rapport des diamètres, $\beta = \frac{d}{D}$	Nombre pur
C	Coefficient de décharge, $C = \frac{\alpha}{E}$	Nombre pur
E	Coefficient de vitesse d'approche, $E = (1 - \beta^4)^{-\frac{1}{2}}$	Nombre pur
ε	Coefficient de détente	Nombre pur
κ	Exposant isentropique **	Nombre pur
m	Rapport des sections $m = \beta^2$	Nombre pur
Re_D	Nombre de Reynolds de la tuyauterie amont rapporté à D	Nombre pur
x	Pression différentielle relative, $x = \frac{\Delta p}{p_1}$	Nombre pur
X	Rapport acoustique, $X = \frac{x}{\kappa}$	Nombre pur
d	Diamètre de l'orifice ou du col de l'élément primaire dans les conditions d'emploi	L
D	Diamètre de la tuyauterie de mesure en amont dans les conditions d'emploi	L
k	Rugosité absolue (voir paragraphe 6.4.1.2)	L
Δp	Pression différentielle	ML ⁻¹ T ⁻²
η	Viscosité dynamique du fluide	ML ⁻¹ T ⁻¹
ν	Viscosité cinématique du fluide	L ² T ⁻¹
p	Pression statique absolue du fluide	ML ⁻¹ T ⁻²
q_m	Débit-masse	MT ⁻¹
q_v	Débit-volume	L ³ T ⁻¹
ρ	Masse volumique du fluide	ML ⁻³
t	Température du fluide	Θ
\bar{v}	Vitesse axiale moyenne du fluide dans la tuyauterie	LT ⁻¹

* M = masse. L = longueur. T = temps.

** Pour les gaz parfaits, le rapport des chaleurs massiques et l'exposant isentropique ont la même valeur.

L'indice 1 désigne l'état (du fluide, etc.) dans la section contenant la prise de pression amont.
L'indice 2 désigne l'état (du fluide, etc.) dans la section contenant la prise de pression aval.

3.2 Mesure de la pression: définitions

- 3.2.1** *Prise de pression à la paroi.* Trou percé à travers la paroi d'une enceinte, débouchant à la surface intérieure de l'enceinte, et dont le bord est arasé à cette surface.
Le trou est habituellement circulaire, mais peut cependant présenter dans certains cas l'aspect d'une fente annulaire.
- 3.2.2** *Pression statique* d'un fluide s'écoulant dans une tuyauterie rectiligne. Pression que l'on peut mesurer en reliant un manomètre à une prise de pression à la paroi. On considère exclusivement dans cette Recommandation ISO la valeur de la pression statique absolue.
- 3.2.3** *Pression différentielle.* Différence des pressions statiques que l'on peut mesurer à des prises de pression à la paroi dont l'une est située en amont et l'autre en aval d'un élément primaire interposé sur une tuyauterie rectiligne où s'écoule un fluide, lorsqu'il n'y a pas de variation d'énergie gravifique entre les prises de pression amont et aval.
Le nom de « pression différentielle » n'est utilisé que si les prises de pression sont situées aux emplacements indiqués par la Recommandation ISO pour chaque élément primaire normal.
- 3.2.4** *Pression différentielle relative.* Quotient de la pression différentielle par la pression statique absolue existant à l'altitude du centre de la section droite de la tuyauterie dont le plan contient l'axe de la prise de pression d'amont.
- 3.2.5** *Perte de charge.* Différence de pression statique existant entre la pression mesurée en amont de l'élément primaire, en un point où ne se fait pas sentir la pression d'impact d'approche, et celle qui est mesurée en aval de cet élément, en un point où la récupération de pression statique par expansion du jet est terminée.

3.3 Eléments primaires: Définitions

- 3.3.1** *Orifice ou col.* Ouverture de section minimale de l'élément primaire.
Les orifices des éléments primaires normaux sont toujours de section circulaire et disposés coaxialement à la tuyauterie.
- 3.3.2** *Diaphragme.* Plaque mince percée d'un orifice circulaire.
Les diaphragmes normaux sont dits « en plaque mince » et « à arête vive rectangulaire », parce que l'épaisseur de la plaque est faible relativement au diamètre de la tuyauterie de mesure, et parce que l'arête amont de l'orifice est à dièdre rectangle et à bord vif.
- 3.3.3** *Tuyère.* Dispositif convergent terminé par une partie cylindrique, dite « col ».
- 3.3.4** *Rapport des diamètres* d'un élément primaire utilisé dans une tuyauterie donnée. Quotient du diamètre de l'orifice de l'élément primaire par le diamètre de la tuyauterie de mesure en amont de cet élément primaire.

3.4 Ecoulement

- 3.4.1** *Débit* d'un fluide s'écoulant à travers un élément primaire. Quantité de matière traversant cet orifice par unité de temps.
Cette quantité peut être caractérisée par sa masse ou son volume, et la valeur du débit peut être exprimée en unités de masse ou de volume par unité de temps.
Il est obligatoire, en toutes circonstances, de désigner explicitement de quel débit il s'agit: débit exprimé soit en masse, soit en volume par unité de temps.
- 3.4.2** *Nombre de Reynolds.* On utilise dans cette Recommandation ISO le nombre de Reynolds rapporté à l'état amont du fluide et au diamètre de la tuyauterie amont, qui est

$$Re_D = \frac{\bar{v}_1 D}{\nu_1}$$

3.4.3 *Exposant isentropique.* L'exposant isentropique κ apparaît dans les différentes formules de coefficient de détente ε soit directement, soit dans le rapport X . Il existe de nombreux gaz et vapeurs pour lesquels des valeurs de κ n'ont pas encore été publiées. Toutefois, pour les gaz dont le comportement est à peu près identique à celui des gaz parfaits, l'exposant isentropique peut être remplacé par le rapport des chaleurs massiques. L'exposant isentropique, de même que le rapport des chaleurs massiques, varient en général quand la température et/ou la pression du gaz varient.

3.4.4 *Rapport acoustique.* Quotient de la pression différentielle relative par l'exposant isentropique (fluides compressibles).

3.4.5 *Coefficient de vitesse d'approche.* Il est égal à :

$$E = (1 - \beta^4)^{-\frac{1}{2}} = D^2 / \sqrt{D^4 - d^4} = (1 - m^2)^{-\frac{1}{2}}$$

3.4.6 *Coefficient de débit.* Le tarage direct d'éléments primaires normaux exécuté au moyen de fluides incompressibles (liquides) montre que la grandeur α définie par la relation ci-dessous n'est, pour un élément primaire donné et pour une installation donnée, fonction que du seul nombre de Reynolds.

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

La grandeur α , nombre pur, est appelée « coefficient de débit ».

La valeur numérique de α est la même pour des installations différentes, chaque fois que ces installations sont géométriquement semblables et que les écoulements y sont caractérisés par des nombres de Reynolds égaux.

Le rapport $C = \frac{\alpha}{E}$ est appelé « coefficient de décharge ».

Les valeurs numériques de α et de C , données dans cette Recommandation ISO ont été déterminées expérimentalement.

3.4.7 *Coefficient de détente.* Le tarage direct d'un élément primaire donné au moyen d'un fluide compressible (gaz) montre que le rapport

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

est fonction à la fois de la valeur du nombre de Reynolds et de celles de la pression différentielle relative et de l'exposant isentropique du gaz.

La méthode adoptée pour représenter ces variations consiste à multiplier le coefficient de débit α de l'élément primaire considéré, déterminé par tarages directs au moyen de liquides, exécutés pour la même valeur du nombre de Reynolds, par un coefficient dit « de détente », défini par la relation

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

ε est différent de l'unité et inférieur à l'unité lorsque le fluide est compressible.

Cette méthode est possible parce que l'expérience montre que pratiquement ε est indépendant du nombre de Reynolds et que, pour un rapport de diamètres donné d'un élément primaire donné, ε dépend de la pression différentielle relative et de l'exposant isentropique.

Les valeurs numériques de ε , données dans cette Recommandation ISO, ont été déterminées expérimentalement.

4. CALCUL — FORMULES

4.1 Formule de base

4.1.1 Pour calculer le débit-masse q_m on doit utiliser le coefficient de débit α et le coefficient de détente ε , tels qu'ils sont définis dans cette Recommandation ISO, dans la formule suivante:

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

ε est égal à l'unité lorsque le fluide est incompressible.

4.1.2 De même, on peut calculer la valeur du débit-volume, dans l'état amont du fluide, par la relation suivante:

$$q_{v_1} = q_m / \rho_1$$

4.1.3 Les formules des paragraphes 4.1.1 et 4.1.2 s'appliquent avec tout système d'unités cohérent.

4.2 Méthode de détermination d'un élément primaire normal

Le principe de la méthode consiste essentiellement à choisir *a priori*

- le type d'élément primaire normal à utiliser,
- une valeur du débit et une valeur de la pression différentielle, quel'on déclare corrélatives.

On porte les valeurs corrélatives de q_m et Δp dans la formule de base, écrite sous la forme ci-dessous:

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

et l'on détermine par approximations successives le rapport des diamètres de l'élément primaire choisi.

4.3 Calcul du débit

On exécute le calcul du débit en remplaçant dans la formule de base

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

les différents termes du second membre par leurs valeurs numériques, obtenues au cours de la mesure, et en effectuant le produit. L'exécution du calcul lui-même n'offre de difficulté autre qu'arithmétique et nécessite simplement les commentaires suivants:

- 1) α peut être fonction de Re_D qui est lui-même fonction de q_m . La valeur finale de q_m peut donc être obtenue par approximations successives, en calculant d'abord q_m à partir d'une valeur de Re_D (ou de α) choisie *a priori*. Par exemple, on peut prendre comme première valeur de α , $\alpha = \alpha_0$
- 2) Δp représente la pression différentielle, telle qu'elle est définie au paragraphe 3.2.3.

5. ERREURS

5.1 Définition de l'écart à craindre

- 5.1.1 Pour les besoins de la présente Recommandation ISO, l'écart à craindre est défini comme une valeur égale au *double* de l'écart-type; cet écart doit être calculé et présenté, sous cette appellation, lors de toute mesure réputée conforme à cette Recommandation ISO.
- 5.1.2 Lorsque les écarts partiels, dont la combinaison conduit à l'écart-type, sont indépendants les uns des autres, petits et nombreux, et lorsque leur distribution est conforme à la loi normale, dite loi de Laplace-Gauss, la probabilité pour que la valeur absolue de l'erreur vraie ne dépasse pas le *double* de l'écart-type est de 95%.

5.1.3 Lorsque l'écart-type σ_q de la mesure de débit q a été calculé.

L'écart à craindre absolu e_a est donc défini par

$$e_a = 2 \sigma_q$$

L'écart à craindre relatif e_r est

$$e_r = \frac{e_a}{q} = 2 \frac{\sigma_q}{q}$$

Le résultat de la mesure du débit q doit alors être présenté sous l'une des formes suivantes:

$$\begin{aligned} \text{débit} &= q \pm e_a \\ \text{ou débit} &= q (1 \pm e_r) \\ \text{ou débit} &= q, \text{ à } (100 e_r) \% \text{ près} \end{aligned}$$

5.2 Définition de l'écart-type

5.2.1 Si l'on désigne par X_1, X_2, \dots, X_i les différentes grandeurs *indépendantes* dont la connaissance permet de calculer la valeur du débit, le débit peut être exprimé par une certaine fonction de ces grandeurs:

$$q = \text{fonction}(X_1, X_2, \dots, X_i)$$

et si l'on désigne par $\sigma_{X_1}, \sigma_{X_2}, \dots, \sigma_{X_i}$ les écarts-types des grandeurs X_1, X_2, \dots, X_i , l'écart-type du débit q est défini par

$$\sigma_q = \left[\left(\frac{\partial q}{\partial X_1} \sigma_{X_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial q}{\partial X_2} \sigma_{X_2} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial q}{\partial X_i} \sigma_{X_i} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

où les dérivées partielles $\frac{\partial q}{\partial X_i}$ dépendent de la manière dont q est fonction des grandeurs X_i .

5.2.2 Si l'on a mesuré plusieurs fois une certaine grandeur X_i , chaque mesure étant indépendante des autres,

l'écart-type d'une mesure *individuelle* de X_i est

$$\sigma_{X_i} = \left[\frac{\sum_{j=1}^{j=n} (X_i - \bar{X}_i)^2}{n-1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

où \bar{X}_i est la valeur la plus probable de la grandeur;

X_j sont les valeurs obtenues lors de chaque mesure individuelle;

n est le nombre total de mesures effectuées.

5.2.3 Si une grandeur X_i n'a pas été mesurée plusieurs fois, ou si peu de fois que le calcul direct de l'écart-type σ_{X_i} est sujet à caution, on suppose que l'on est capable au moins d'évaluer l'écart maximal des mesures, en plus *et* en moins de la valeur admise pour X_i . On admettra alors que l'écart-type est estimé à $1/4$ de l'écart total estimé possible (c'est-à-dire à la moitié de l'écart maximal moyen en plus *ou* en moins de la valeur admise pour X_i).

5.2.4 La règle du paragraphe 5.2.2 est valable seulement si les écarts, tels qu'ils sont donnés par le paragraphe 5.2.2 ou 5.2.3, sont indépendants, ou bien s'applique seulement aux écarts qui peuvent être considérés comme tels.

5.3 Calcul pratique de l'écart-type

5.3.1 La formule de base de calcul du débit-masse q_m est

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

En fait les différentes grandeurs qui figurent au second membre de cette formule ne sont pas indépendantes, de sorte qu'il n'est pas correct de calculer l'écart-type de q_m directement à partir des écarts-types de ces grandeurs.

Par exemple

α est fonction de $d, D, k, \bar{v}_1, \nu_1$

ε est fonction de $d, D, \Delta p, \rho_1, \kappa$