
Norme internationale



5167

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

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

Measurement of fluid flow by means of orifice plates, nozzles and venturi tubes inserted in circular cross-section conduits running full

Première édition — 1980-02-01

CDU 532.575.52/ .54

Réf. n° : ISO 5167-1980 (F)

Descripteurs : mesurage de débit, écoulement de fluide, diaphragme, tube de Venturi, tuyère, spécification, règle de calcul

Prix basé sur 65 pages

AVANT-PROPOS

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique correspondant. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO, participent également aux travaux.

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

La Norme internationale ISO 5167 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 avril 1976.

Les comités membres des pays suivants l'ont approuvée :

Afrique du Sud, Rép. d'	Finlande	Roumanie
Allemagne, R. F.	France	Royaume-Uni
Australie	Hongrie	Tchécoslovaquie
Belgique	Mexique	Turquie
Chili	Pays-Bas	URSS
Corée, Rép. de	Philippines	
Égypte, Rép. arabe d'	Portugal	

Le comité membre du pays suivant l'a désapprouvée pour des raisons techniques :

USA

Cette Norme internationale annule et remplace les Recommandations ISO/R 541-1967 et ISO/R 781-1968, dont elle constitue une révision technique.

Au cours de l'établissement de la présente Norme internationale, il apparut qu'elle était en conflit avec un document sur le même sujet préparé par l'ISO/TC 28/SC 5 "*Mesure des hydrocarbures légers*". Un groupe de liaison ISO/TC 28/SC 5 – ISO/TC 30 a été constitué en vue d'éliminer les différences entre ces deux documents.

L'achèvement dans l'avenir des travaux de ce groupe de liaison peut, en conséquence, entraîner la révision de la présente Norme internationale.

SOMMAIRE	Page
1 Objet et domaine d'application	1
2 Symboles et définitions	1
2.1 Symboles	2
2.2 Mesure de la pression : Définitions.	3
2.3 Éléments primaires : Définitions	3
2.4 Écoulement : Définitions	3
3 Principe de la méthode de mesurage et mode de calcul	4
3.1 Principe de la méthode de mesurage	4
3.2 Méthode de détermination du rapport des diamètres de l'élément primaire normal choisi.	4
3.3 Calcul du débit.	5
3.4 Détermination de la masse volumique.	5
4 Choix de l'élément primaire	6
5 Conditions générales pour les mesurages	6
5.1 Élément primaire	6
5.2 Nature du fluide.	6
5.3 Conditions de l'écoulement	7
6 Conditions d'installation.	7
6.1 Généralités	7
6.2 Longueurs droites minimales d'amont et d'aval à installer entre différents accessoires et l'élément primaire	7
6.3 Dispositifs redresseurs	10
6.4 Conditions générales à remplir par l'écoulement au voisinage de l'élément primaire	12
6.5 Conditions d'installation supplémentaires spécifiques aux diaphragmes, tuyères et Venturi-tuyères	12
6.6 Conditions d'installation supplémentaires spécifiques aux tubes de Venturi classiques	13

7	Diaphragmes	14
7.1	Description	14
7.2	Prises de pression	15
7.3	Coefficients et erreurs limites correspondantes des diaphragmes.	18
7.4	Perte de pression $\Delta\bar{\omega}$.	20
8	Tuyères	20
8.1	Tuyères ISA 1932.	20
8.2	Tuyères à long rayon.	23
9	Tubes de Venturi	26
9.1	Tubes de Venturi classiques	26
9.2	Venturi-tuyères.	32
10	Erreurs limites sur la mesure du débit	34
10.1	Définition de l'erreur limite	34
10.2	Calcul pratique de l'erreur limite	34
Annexes		
A	Tableaux des coefficients de débit et de décharge	36
B	Tubes de Venturi classiques en dehors du domaine couvert par la présente Norme internationale.	62
C	Perte de pression dans un tube de Venturi classique.	64

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

1 OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

La présente Norme internationale spécifie la forme et le mode d'emploi (conditions d'installation et d'utilisation) des diaphragmes, tuyères et tubes de Venturi insérés dans une conduite en charge dans le but de déterminer le débit du fluide s'écoulant dans cette conduite. Elle fournit également des informations nécessaires au calcul de ce débit et de l'incertitude associée.

Elle s'applique seulement aux appareils déprimogènes pour lesquels l'écoulement reste subsonique dans tout le tronçon de mesurage, est régulier ou ne varie que lentement dans le temps et lorsque le fluide est monophasique. De plus, on ne peut utiliser chacun de ces appareils que dans des limites spécifiées de diamètre de canalisation et de nombre de Reynolds; de sorte qu'on ne peut faire référence à la présente Norme internationale pour des diamètres de conduite inférieurs à 50 mm ou supérieurs à 1 200 mm, ainsi que pour des nombres de Reynolds rapportés au diamètre de la tuyauterie inférieurs à 3 150.

Elle traite d'appareils pour lesquels des expériences d'éta-lonnage 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 et pour permettre que les coefficients soient donnés avec une marge d'incertitude prévisible.

Les appareils interposés dans la conduite 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 Norme internationale concerne les éléments primaires et ne mentionne qu'exceptionnellement les appareils secondaires¹⁾.

Les divers éléments primaires considérés dans la présente Norme internationale sont les suivants :

- diaphragmes, avec lesquels les divers types de prises de pression suivants sont utilisés :
 - prises de pression dans les angles,
 - prises de pression à D et $D/2$,²⁾
 - prises de pression à la bride,
- tuyères :

- tuyère ISA³⁾ 1932,
- tuyère à long rayon,

qui diffèrent entre elles par leurs formes et/ou l'emplacement des prises de pression,

- tubes de Venturi :

- tube de Venturi classique⁴⁾,
- Venturi-tuyère,

qui diffèrent entre eux par leur forme et/ou l'emplacement des prises de pression.

2 SYMBOLES ET DÉFINITIONS

Le vocabulaire et les symboles utilisés dans la présente Norme internationale sont définis dans l'ISO 4006, *Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées — Vocabulaire et symboles*.

Le tableau 1 reproduit les symboles utilisés dans la présente Norme internationale.

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

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

2) Les diaphragmes à prises de pression *vena contracta* ne sont pas traités dans la présente Norme internationale.

3) ISA est le sigle de la «*Fédération internationale des Associations nationales de normalisation*», organisme qui a été remplacé par l'ISO en 1946.

4) Le tube de Venturi classique est parfois appelé, aux États-Unis, tube de Herschel.

2.1 Symboles

TABLEAU 1 — Symboles

Symboles	Grandeur désignée	Dimensions M : masse L : longueur T : temps Θ : température	Unité SI correspondante
<i>C</i>	Coefficient de décharge, $C = \frac{\alpha}{E}$	sans	
<i>d</i>	Diamètre de l'orifice ou du col de l'élément primaire dans les conditions d'emploi	L	m
<i>D</i>	Diamètre intérieur de la tuyauterie de mesure en amont (ou diamètre amont d'un tube de Venturi classique) dans les conditions d'emploi	L	m
<i>e</i>	Erreur limite relative	sans	
<i>E</i>	Coefficient de vitesse d'approche, $E = (1 - \beta^4)^{-1/2}$	sans	
<i>k</i>	Rugosité uniforme équivalente (voir 7.3.2.1)	L	m
<i>l</i>	Éloignement d'une prise de pression	L	m
<i>L</i>	Éloignement relatif d'une prise de pression, $L = \frac{l}{D}$	sans	
<i>p</i>	Pression du fluide	$ML^{-1} T^{-2}$	Pa
<i>q_m</i>	Débit-masse	MT^{-1}	kg/s
<i>q_v</i>	Débit-volume	$L^3 T^{-1}$	m ³ /s
<i>R</i>	Rayon	L	m
<i>R_a</i>	Écart moyen arithmétique de la ligne moyenne de profil (voir ISO/R 468)	L	m
<i>Re</i>	Nombre de Reynolds	sans	
<i>Re_D</i> <i>Re_d</i>	Nombre de Reynolds rapporté à <i>D</i> ou à <i>d</i>	sans	
<i>t</i>	Température du fluide	Θ	°C
<i>U</i>	Vitesse axiale moyenne du fluide dans la tuyauterie	LT^{-1}	m/s
<i>X</i>	Rapport acoustique, $X = \frac{\Delta p}{p_1 \kappa}$	sans	
<i>α</i>	Coefficient de débit	sans	
<i>β</i>	Rapport des diamètres $\beta = \frac{d}{D}$	sans	
<i>γ</i>	Rapport des chaleurs massiques ¹⁾	sans	
<i>Δp</i>	Pression différentielle	$ML^{-1} T^{-2}$	Pa
<i>Δω</i>	Perte de pression	$ML^{-1} T^{-2}$	Pa
<i>ε</i>	Coefficient de détente	sans	
<i>κ</i>	Exposant isentropique ¹⁾	sans	
<i>μ</i>	Viscosité dynamique du fluide	$ML^{-1} T^{-1}$	Pa·s
<i>ν</i>	Viscosité cinématique du fluide, $\nu = \frac{\mu}{\rho}$	$L^2 T^{-1}$	m ² /s
<i>ξ</i>	Perte de pression relative	sans	
<i>ρ</i>	Masse volumique du fluide	ML^{-3}	kg/m ³
<i>τ</i>	Rapport des pressions, $\tau = \frac{p_2}{p_1}$	sans	
<i>φ</i>	Angle au sommet du divergent	sans	radian

1) Rapport de la chaleur massique à pression constante à la chaleur massique à volume constant. Pour les gaz parfaits, le rapport des chaleurs massiques et l'exposant isentropique ont les mêmes valeurs (voir 2.4.3). Ces valeurs dépendent de la nature du gaz.

NOTE — L'indice 1 se réfère à la section droite contenant l'axe de la prise de pression amont.
L'indice 2 se réfère à la section droite contenant l'axe de la prise de pression aval.

2.2 Mesure de la pression : Définitions

2.2.1 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, dans certains cas, être une fente annulaire.

2.2.2 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 la présente Norme internationale, la valeur de la pression (statique) absolue.

2.2.3 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 (ou dans le col pour un tube de Venturi) interposé dans une tuyauterie rectiligne où s'écoule un fluide, lorsque toute différence de hauteur entre les prises de pression amont et aval a été prise en considération.

Le terme de «pression différentielle» n'est utilisé que si les prises de pression sont situées aux emplacements indiqués par la présente Norme internationale pour chaque élément primaire normalisé.

2.2.4 rapport des pressions : Quotient de la pression (statique) absolue à la prise de pression aval divisée par la pression (statique) absolue à la prise de pression amont.

2.3 Éléments primaires : Définitions

2.3.1 orifice ou col : Ouverture de section minimale de l'élément primaire.

Les orifices des éléments primaires normaux sont de section circulaire et disposés coaxialement à la tuyauterie.

2.3.2 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 forme un angle droit et est à bord vif.

2.3.3 tuyère : Dispositif convergent terminé par une partie cylindrique, dite «col».

2.3.4 tube de Venturi : Dispositif convergent suivi d'une partie cylindrique dite «col» et d'un évasement tronconique dit «divergent».

Si la partie convergente est une tuyère ISA 1932 normalisée, l'appareil est appelé «Venturi-tuyère». Si la partie convergente est tronconique, l'appareil est appelé «tube de Venturi classique».

2.3.5 rapport des diamètres d'un élément primaire utilisé dans une tuyauterie donnée : Quotient du diamètre de l'orifice (ou du col) de l'élément primaire par le diamètre de la tuyauterie de mesure en amont de cet élément primaire.

Cependant, dans le cas où l'élément primaire comporte une partie cylindrique d'amont, de diamètre équivalent au diamètre de la tuyauterie (tube de Venturi classique), le rapport des diamètres est le quotient du diamètre au col divisé par le diamètre de cette partie cylindrique mesuré dans le plan des prises de pression amont.

2.4 Écoulement : Définitions

2.4.1 débit d'un fluide s'écoulant à travers un élément primaire : Masse ou volume de fluide traversant l'orifice ou le col par unité de temps. Il est obligatoire, en toutes circonstances, de préciser explicitement s'il s'agit d'un débit-masse (exprimé en masse par unité de temps) ou d'un débit-volume (exprimé en volume par unité de temps).

2.4.2 nombre de Reynolds

On utilise, dans la présente Norme internationale :

- soit le nombre de Reynolds rapporté à l'état amont du fluide et au diamètre de la tuyauterie amont, qui est :

$$Re_D = \frac{U_1 D}{\nu_1}$$

- soit un nombre de Reynolds rapporté au diamètre de l'orifice ou du col de l'élément primaire, qui est :

$$Re_d = Re_D \times \beta^{-1}$$

2.4.3 exposant isentropique

L'exposant isentropique κ apparaît dans les différentes formules de coefficient de détente ϵ soit directement, soit dans le rapport X . L'exposant isentropique varie avec la nature du gaz et avec sa température et sa pression.

Il existe de nombreux gaz et vapeurs pour lesquels des valeurs de κ n'ont pas encore été publiées. Dans ce cas, pour les besoins de la présente Norme internationale, on peut utiliser le rapport des chaleurs massiques pour les gaz parfaits au lieu de l'exposant isentropique dans le calcul du débit.

2.4.4 rapport acoustique : Quotient de la pression différentielle relative par l'exposant isentropique (fluides compressibles).

2.4.5 coefficient de vitesse d'approche

Il est égal à :

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

2.4.6 coefficients de débit et de décharge

L'étalonnage direct d'éléments primaires normalisés exécuté au moyen de fluides dits incompressibles (liquides) montre que α , appelé «coefficient de débit», défini par la relation ci-dessous n'est, pour un élément primaire donné et pour une installation donnée, fonction que du seul nombre de Reynolds :

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

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 la présente Norme internationale ont été déterminées expérimentalement.

2.4.7 coefficient de détente

Le tarage direct d'un élément primaire donné au moyen d'un fluide compressible (gaz) montre que le rapport :

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

est fonction à la fois de la valeur du nombre de Reynolds et des valeurs du rapport des pressions 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 :

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

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

Cette méthode est utilisable 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 ne dépend que de la pression différentielle relative et de l'exposant isentropique.

Les valeurs numériques de ϵ , données dans la présente Norme internationale, ont été déterminées expérimentalement.

2.4.8 critère de rugosité

Le critère de rugosité R_a utilisé dans la présente Norme internationale est celui défini par l'ISO/R 468. Il est égal à l'écart moyen arithmétique par rapport à la ligne moyenne du profil considéré. Cette ligne moyenne est telle que la somme des carrés des distances entre la surface réelle et cette ligne est minimale. En pratique, R_a peut être mesuré avec un matériel normalisé pour ce qui concerne les surfaces usinées, mais ne peut être qu'estimé lorsqu'il s'agit de la surface, plus rugueuse, de tuyauteries.

Pour les tuyauteries, on utilise la hauteur de rugosité équivalente k . Cette hauteur peut être déterminée expérimentalement (voir 7.3.1) ou lue dans des tables (voir tableau 6).

3 PRINCIPE DE LA MÉTHODE DE MESURAGE ET MODE DE CALCUL

3.1 Principe de la méthode de mesurage

Le principe de la méthode de mesurage consiste à interposer un élément primaire (tel qu'un diaphragme, une tuyère ou un tube de Venturi) sur le passage d'un fluide s'écoulant en charge dans une conduite, ce qui crée une pression différentielle du fluide entre l'amont et le col ou l'aval de cet élément primaire. On peut déduire la valeur du débit de la mesure de cette pression différentielle et de la connaissance du fluide d'écoulement et des circonstances d'emploi de l'élément primaire, si celui-ci est géométriquement semblable à l'un de ceux ayant fait antérieurement l'objet d'étalonnages directs et s'il est semblablement utilisé, c'est-à-dire s'il est en tous points conforme à la présente Norme internationale.

En effet, le débit-masse est lié à la pression différentielle, dans les limites d'erreurs indiquées dans la présente Norme internationale, par l'une des formules de base suivantes :

$$q_m = \alpha \epsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \Delta p \times \rho_1} \quad \dots (1)$$

ou

$$q_m = CE \epsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \Delta p \times \rho_1} \quad \dots (2)$$

De même, on peut calculer la valeur du débit-volume, sachant que :

$$q_v = \frac{q_m}{\rho} \quad \dots (3)$$

où ρ est la masse volumique du fluide à la température et à la pression pour lesquelles le volume est donné.

3.2 Méthode de détermination du rapport des diamètres de l'élément primaire normal choisi

Dans la pratique, lorsque l'on doit déterminer le diamètre d'un élément primaire à installer dans une tuyauterie donnée, en vue d'une mesure de débit, on ne connaît pas, en général, α ou CE intervenant dans les formules de base (1) ou (2). On choisira donc *a priori* :

- le type d'élément primaire à utiliser,

— une valeur du débit et la valeur correspondante de la pression différentielle.

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

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

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

3.3 Calcul du débit

On effectue le calcul du débit en remplaçant les différents termes du second membre des formules de base (1) ou (2) par leurs valeurs numériques.

L'exécution du calcul lui-même n'offre de difficulté autre qu'arithmétique et nécessite simplement les commentaires suivants :

- a) α peut être fonction de Re , qui est lui-même fonction de q_m . La valeur finale de α et donc de q_m ne peut dans ce cas être obtenue que par itération à partir d'une valeur choisie initialement pour α (ou Re). Il peut en général être commode d'adopter comme première valeur de α celle qui correspond à un nombre de Reynolds égal à 10^6 .
- b) Δp représente la pression différentielle, telle qu'elle est définie en 2.2.3.
- c) L'attention est attirée sur le fait que d et D , mentionnés dans les formules, sont les valeurs des diamètres dans les conditions d'utilisation. Par conséquent les valeurs de d et D mesurées dans les conditions ambiantes doivent être corrigées pour tenir compte de la dilatation ou contraction éventuelle de l'élément primaire et de la conduite résultant des valeurs de la température et de la pression du fluide lors du mesurage.
- d) Pour les besoins du mesurage, il est nécessaire de connaître la masse volumique et la viscosité du fluide dans les conditions de mesurage.

3.4 Détermination de la masse volumique

Il est nécessaire de connaître la masse volumique du fluide au niveau de la prise de pression amont; elle peut être soit mesurée directement, soit calculée à partir de la connaissance de la pression (statique), de la température et des caractéristiques du fluide dans ce plan.

3.4.1 La pression (statique) du fluide doit être mesurée, dans le plan des prises de pression amont, au moyen d'une prise de pression individuelle à la paroi (décrite en 7.2.1) ou au moyen de prises de bague piézométrique (décrite en 7.2.4).

3.4.1.1 Cette prise de pression statique doit de préférence être distincte de celle qui est destinée au mesurage de la composante amont de la pression différentielle, à moins que l'on désire mesurer séparément les pressions aux prises amont et aval.

Toutefois, il est permis de relier simultanément une prise de pression amont à un appareil de mesure de pression différentielle et à un appareil de mesure de pression (statique), à condition de vérifier que cette double liaison ne conduit pas à une détérioration de la mesure de la pression différentielle.

3.4.1.2 La valeur de la pression (statique) à considérer dans les calculs ultérieurs est celle qui existe au niveau du centre de la section droite de mesure amont, qui peut être différente de la pression mesurée à la paroi.

3.4.2 Bien que la température du fluide permettant de calculer sa masse volumique et sa viscosité soit celle existant dans le plan des prises de pression amont, la température du fluide doit être mesurée de préférence en aval de l'élément primaire. La poche à thermomètre doit être d'encombrement aussi réduit que possible. Son éloignement de l'élément primaire doit être au moins égal à $5D$, si elle est située en aval, et conforme aux deux dernières lignes du tableau 3, si elle est située en amont.

Si le fluide mesuré est un gaz, la température en amont pourra être déduite de la température mesurée en aval en supposant isentropique la détente dans l'élément primaire.

3.4.3 Tout mode de détermination de la masse volumique, de la pression (statique) et de la température du fluide est acceptable s'il permet d'obtenir une valeur certaine de la pression, de la température, de la viscosité et de la masse volumique du fluide dans le plan des prises de pression amont, sans perturber l'écoulement à mesurer.

3.4.4 La température de l'élément primaire et celle du fluide en amont de l'élément primaire sont supposées être les mêmes (voir 6.1.9).

4 CHOIX DE L'ÉLÉMENT PRIMAIRE

Le tableau 2 donne des indications permettant de choisir le type d'élément primaire à utiliser en fonction des caractéristiques désirées.

TABLEAU 2 — Critères de choix du type d'élément primaire

Caractéristiques à considérer	Éléments de choix
Diamètre de la conduite Rapport des diamètres Nombre de Reynolds	Pour chaque élément primaire, il existe des valeurs limites pour le diamètre intérieur de la conduite, le rapport des diamètres β et le nombre de Reynolds de l'écoulement. Si la valeur choisie pour la pression différentielle et la valeur du débit sont telles que la valeur de β pour un diaphragme dépasse la limite admissible, il est possible d'utiliser une tuyère qui nécessite dans les mêmes conditions une valeur plus faible de β .
Perte de pression	Pour une même pression différentielle, les pertes de pression sont 4 à 6 fois plus faibles pour les tubes de Venturi classiques et les Venturi-tuyères que pour les diaphragmes et les tuyères.
Longueurs droites à prévoir en amont et en aval	Les tubes de Venturi classiques nécessitent des longueurs droites de tuyauterie plus faibles que les diaphragmes, tuyères et Venturi-tuyères.
Encombrement	La distance nécessaire entre brides pour monter l'élément sur la tuyauterie est importante pour les tubes de Venturi classiques et les Venturi-tuyères.
Type du fluide	Avec des fluides abrasifs ou corrosifs, les coefficients des diaphragmes peuvent varier de façon continue dans le temps du fait que l'arête s'émousse; des dépôts sur la surface des tuyères et des tubes de Venturi ont une influence immédiate sur le coefficient de débit, mais ensuite il est probable que la variation en fonction du temps sera moindre.
Précision	Les erreurs limites sur le coefficient de débit sont définies pour chaque élément primaire.
Coût et fabrication	Les diaphragmes sont moins coûteux et de fabrication plus simple que tous les autres types d'éléments primaires.

5 CONDITIONS GÉNÉRALES POUR LES MESURAGES

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

5.1 Élément primaire

5.1.1 L'élément primaire doit être construit, installé et utilisé d'une façon conforme à la présente Norme internationale.

Pour les éléments primaires dont les caractéristiques de construction et d'utilisation sortent des limites définies dans la présente Norme internationale, il est nécessaire d'étalonner individuellement l'élément primaire dans ses conditions véritables d'utilisation.

5.1.2 Le bon état de l'élément primaire doit être vérifié après chaque mesurage ou après chaque série de mesurages ou à intervalles suffisamment rapprochés pour qu'on ait la certitude de sa conformité à la présente Norme internationale.

L'attention est attirée sur le fait que les fluides, même apparemment neutres, peuvent former des dépôts ou des incrustations sur les éléments primaires. Les variations éventuelles

du coefficient de décharge, qui peuvent en résulter dans le temps, risquent de conduire à des valeurs en dehors des erreurs limites données dans la présente Norme internationale.

5.1.3 Il est nécessaire d'utiliser, pour la construction, des matériaux dont le coefficient de dilatation est connu, excepté dans le cas où l'utilisateur estime que, compte tenu de la température du fluide à mesurer, il est légitime de négliger les variations de dimensions résultant de variations de température.

5.2 Nature du fluide

5.2.1 Le fluide peut être compressible (gaz) ou considéré comme incompressible (liquide).

5.2.2 Le fluide doit être homogène physiquement et thermiquement et se présenter en phase unique.

Les solutions colloïdales très dispersées (le lait, par exemple), et celles-là seules, sont considérées comme constituées d'une phase unique.

5.2.3 Pour l'exécution du mesurage, il est nécessaire de connaître la masse volumique et la viscosité du fluide dans les conditions de mesurage (voir 3.3 d).

5.3 Conditions de l'écoulement

5.3.1 Le débit de l'écoulement doit être constant, ou bien, en pratique, ne varier que peu et lentement en fonction du temps. Le mesurage des débits pulsatoires n'est pas décrit dans la présente Norme internationale.¹⁾

5.3.2 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 émettant 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.

5.3.3 Si le fluide est un gaz, le rapport des pressions, tel que défini en 2.2.4, doit être égal ou supérieur à 0,75.

6 CONDITIONS D'INSTALLATION

6.1 Généralités

6.1.1 Le procédé de mesurage ne s'applique qu'aux fluides s'écoulant dans une conduite de section droite circulaire.

6.1.2 La conduite doit être complètement remplie au droit de la section de mesure.

6.1.3 L'élément primaire doit être installé dans la conduite à un emplacement tel que les conditions d'écoulement immédiatement en amont de celui-ci soient suffisamment proches de celles d'un écoulement complètement établi et sans giration (voir 6.4). De telles conditions sont supposées exister si l'installation est conforme aux exigences décrites au présent chapitre 6.

6.1.4 L'élément primaire doit être installé entre deux longueurs droites de conduite cylindrique de section constante ne comportant aucun obstacle, ni aucune dérivation (qu'il y ait ou non écoulement de fluide dans ces dérivations pendant le mesurage de débit), autres que ceux qui sont désignés par la présente Norme internationale.

La conduite 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, le type d'élément primaire et le rapport des diamètres. Elles sont indiquées dans les tableaux 3 et 4.

6.1.5 On prendra pour valeur du diamètre D de la conduite, à utiliser dans le calcul du rapport des diamètres, le diamètre intérieur moyen sur une longueur de $0,5 D$ en amont de la prise de pression amont. Ce diamètre intérieur moyen sera la moyenne arithmétique des mesures d'au

moins quatre diamètres également répartis dans chacune d'au moins trois sections transversales elles-mêmes également réparties sur la distance $0,5 D$, deux de ces sections étant nécessairement situées aux distances $0 D$ et $0,5 D$. Si le montage comporte une bague piézométrique (figure 4a), cette valeur de $0,5 D$ sera comptée à partir du bord amont de la bague.

6.1.6 Tout le long des parties droites minimales nécessaires, la conduite doit être 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 où l'on appliquera des conditions particulières en fonction du type d'élément primaire utilisé (voir 6.5.1 et 6.6.1).

6.1.7 Le diamètre intérieur D de la conduite de mesure doit satisfaire aux valeurs indiquées pour chaque type d'élément primaire.

6.1.8 La conduite de mesure doit présenter une surface intérieure propre, sans incrustation, ni piqûre, ni dépôt sur une longueur au moins égale à $10 D$ en amont et $4 D$ en aval de l'élément primaire.

6.1.9 La conduite de mesure et les brides de serrage doivent être calorifugées au moins tout au long des parties rectilignes nécessaires. Il n'est toutefois pas nécessaire de calorifuger la conduite, lorsque la température du fluide ne dépasse pas, entre l'entrée de la longueur droite de la conduite amont et la sortie de la longueur droite de la conduite aval, une valeur limite que fixe l'utilisateur en fonction de la précision qu'il désire dans sa mesure.

6.2 Longueurs droites minimales d'amont et d'aval à installer entre différents accessoires et l'élément primaire

6.2.1 Ces longueurs droites minimales sont données dans les tableaux 3 et 4.

6.2.2 Les longueurs droites présentées dans les tableaux 3 et 4 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 les tableaux 3 et 4 pour «une erreur limite supplémentaire nulle»²⁾.

6.2.3 Lorsque les longueurs droites satisfont aux exigences des tableaux 3 et 4 et lorsqu'elles sont supérieures ou égales aux valeurs données pour «une erreur limite supplémentaire nulle»²⁾, il n'y a pas lieu d'ajouter d'erreur supplémentaire à l'erreur sur le coefficient de débit pour tenir compte d'un effet des conditions d'installation.

1) Il fait l'objet du Rapport technique 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».

2) Valeurs sans parenthèses dans les tableaux 3 et 4.

6.2.4 Lorsque les longueurs droites d'amont OU d'aval sont inférieures aux valeurs pour «une erreur limite supplémentaire nulle»¹⁾, tout en restant égales ou supérieures aux valeurs pour «une erreur limite supplémentaire de $\pm 0,5\%$ »²⁾, telles qu'elles sont données dans les tableaux 3 et 4, une erreur supplémentaire de $\pm 0,5\%$ doit être ajoutée arithmétiquement à l'erreur sur le coefficient de débit.

6.2.5 Si les longueurs droites sont inférieures aux valeurs pour «une erreur limite supplémentaire de $\pm 0,5\%$ »²⁾, données dans les tableaux 3 et 4, la présente Norme internationale ne donne aucun renseignement permettant à quiconque d'estimer une valeur d'erreur limite 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 limite supplémentaire nulle»¹⁾.

6.2.6 Les robinets cités aux tableaux 3 et 4 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 à opercule et seront grand ouverts.

6.2.7 À la suite d'un changement de direction simple (coude ou té), il est recommandé d'installer les prises de pression (s'il s'agit de paires de prises individuelles) de telle sorte que leur axe soit perpendiculaire au plan du coude ou du té.

TABEAU 3 – Longueurs droites requises pour les diaphragmes, tuyères et tubes de Venturi-tuyères

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

Les valeurs sans parenthèses sont des valeurs pour «une erreur limite supplémentaire nulle» (voir 6.2.3).

Les valeurs entre parenthèses sont des valeurs pour «une erreur limite supplémentaire de $\pm 0,5\%$ » (voir 6.2.4).

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.

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

Pour toutes valeurs de β	Accessoires	Longueur droite minimale nécessaire en amont
	Brusque réduction symétrique de rapport de diamètre $\geq 0,5$	30 (15)
	Poche à thermomètre ou puits de diamètre $\leq 0,03D$ Poche à thermomètre ou puits de diamètre compris entre $0,03D$ et $0,13D$	5 (3) 20 (10)

1) Valeurs sans parenthèses dans les tableaux 3 et 4.

2) Valeurs entre parenthèses dans les tableaux 3 et 4.

TABLEAU 4 — Longueurs droites requises pour les tubes de Venturi classiques

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

Les valeurs sans parenthèses sont des valeurs pour «une erreur limite supplémentaire nulle» (voir 6.2.3).

Les valeurs entre parenthèses sont des valeurs pour «une erreur limite supplémentaire de $\pm 0,5\%$ » (voir 6.2.4).

Toutes les longueurs droites sont exprimées en multiples du diamètre D . Elles doivent être mesurées à partir du plan des prises de pression amont du tube de Venturi classique. La rugosité de la conduite, au moins pour la longueur donnée par le tableau 4, ne doit pas dépasser celle d'une conduite lisse du commerce (approximativement $k/D \leq 10^{-3}$).

Longueurs droites à l'aval. Les accessoires ou obstacles (indiqués dans le tableau 4) situés en aval au moins à quatre fois le diamètre du col à partir du plan des prises de pression au col n'affectent pas la justesse des mesures.

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

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

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

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

NOTE — Les raisons pour lesquelles les longueurs droites minimales nécessaires pour les tubes de Venturi classiques sont inférieures à celles définies au tableau 3 pour les diaphragmes, tuyères et Venturi-tuyères sont les suivantes :

a) Elles proviennent de résultats d'expériences et de procédés de corrélation différents.

b) Le convergent du tube de Venturi classique sert à régulariser le «profil des vitesses» au col de l'appareil. Des essais ont montré que, pour des rapports de diamètres identiques, les longueurs droites minimales à l'amont d'un tube de Venturi classique peuvent être inférieures à celles requises pour les diaphragmes, les tuyères et les Venturi-tuyères.

6.2.8 Les valeurs données dans les tableaux 3 et 4 ont été obtenues expérimentalement en disposant d'une longueur droite très importante en amont de l'accessoire considéré, ce qui permet d'admettre qu'en amont de l'accessoire, l'écoulement est suffisamment proche d'un écoulement complètement établi et sans giration. Habituellement, on ne dispose pas de telles conditions et les remarques suivantes peuvent être utilisées comme guide dans les cas normaux d'installation.

a) Si l'élément primaire est placé dans une conduite le reliant à une enceinte ouverte ou à un grand récipient situé en amont, soit directement, soit par l'intermédiaire d'accessoires, la longueur totale de conduite entre l'enceinte ouverte et l'élément primaire ne doit en aucun

cas être inférieure à $30D^4$). S'il existe un accessoire, on doit en outre satisfaire aux longueurs droites données dans les tableaux 3 et 4 entre cet accessoire et l'élément primaire.

b) Si plusieurs accessoires autres que des coudes à 90° ⁵⁾ 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 les tableaux 3 et 4. Mais, de plus, maintenir entre cet accessoire (1) et l'accessoire (2) qui le précède, une longueur droite égale à la moitié de la valeur indiquée dans les tableaux 3 et 4 pour l'acces-

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

5) Dans le cas de plusieurs coudes à 90° , se reporter aux tableaux 3 et 4 qui peuvent s'appliquer quelle que soit la longueur entre deux coudes consécutifs.

soire (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 dans l'alinéa a) ci-dessus.

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

6.3 Dispositifs redresseurs

L'utilisation de dispositifs redresseurs d'écoulement conformes aux modèles décrits en 6.3.2 et représentés par la figure 1 est recommandée pour permettre l'installation d'éléments primaires en aval d'accessoires non mentionnés dans le tableau 3 ou dans le tableau 4. Quand un élément primaire dont le rapport des diamètres est grand doit être utilisé, l'insertion de tels dispositifs permet quelquefois d'installer en amont de l'élément primaire des longueurs droites plus courtes que les longueurs droites minimales indiquées dans le tableau 3.

Quand l'installation d'un redresseur d'écoulement est faite conformément aux indications de 6.3.1, sa présence n'introduit aucune erreur supplémentaire sur le coefficient de débit.

6.3.1 Installation

Le redresseur d'écoulement doit être installé dans la longueur droite comprise entre l'élément primaire et l'accessoire perturbateur de l'écoulement le plus proche de l'élément primaire. Dans le cas où les conditions prévues au premier alinéa de 6.4 ne peuvent être démontrées, la longueur droite comprise entre cet accessoire et le redresseur lui-même doit être au moins égale à $20 D$ et la longueur droite comprise entre le redresseur et l'élément primaire doit être au moins égale à $22 D$. Un redresseur n'est pleinement efficace que s'il est monté de façon qu'il reste le moins d'espace possible autour de ses éléments, afin d'empêcher toute circulation dérivée de fluide qui nuirait à son bon fonctionnement.

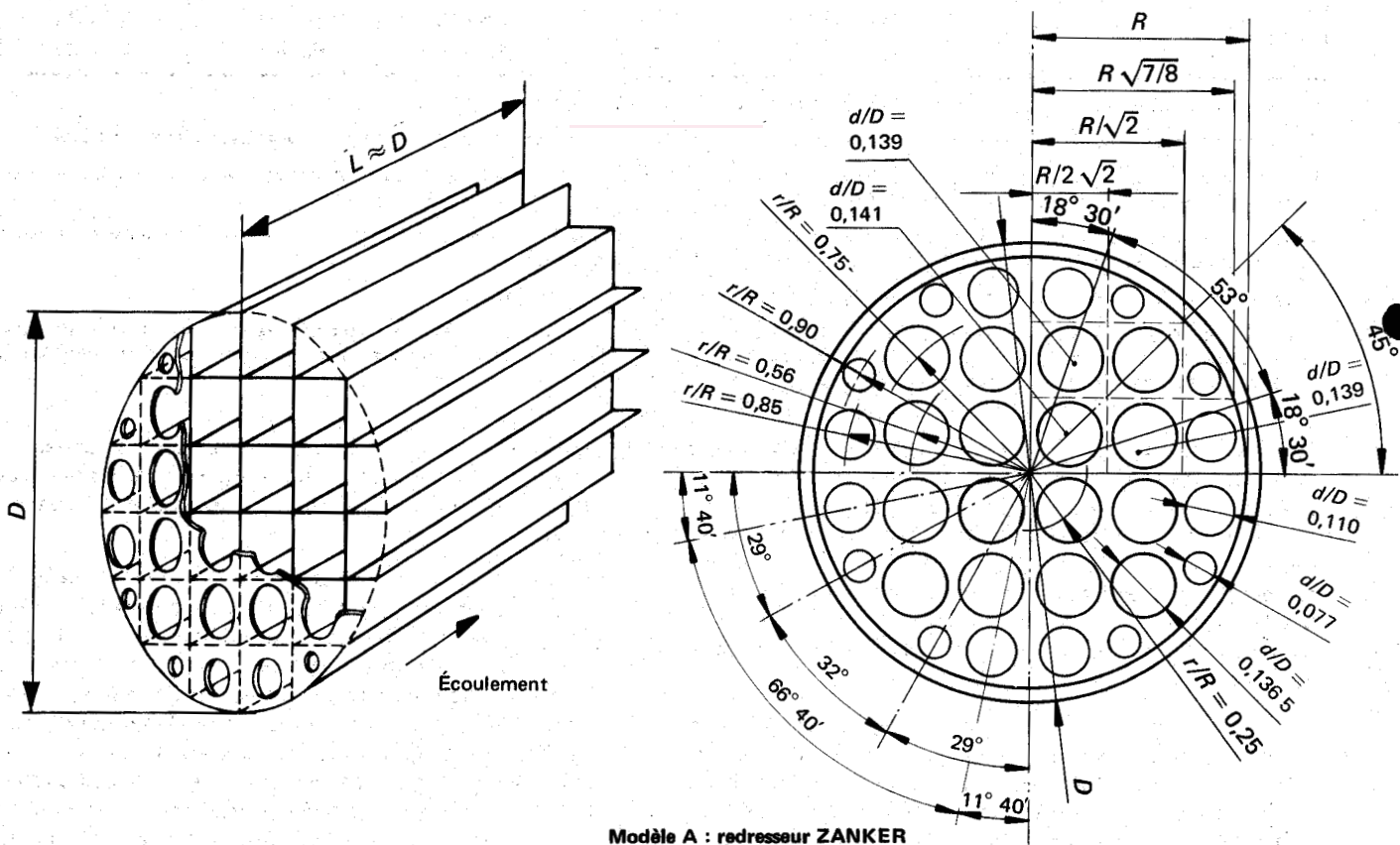
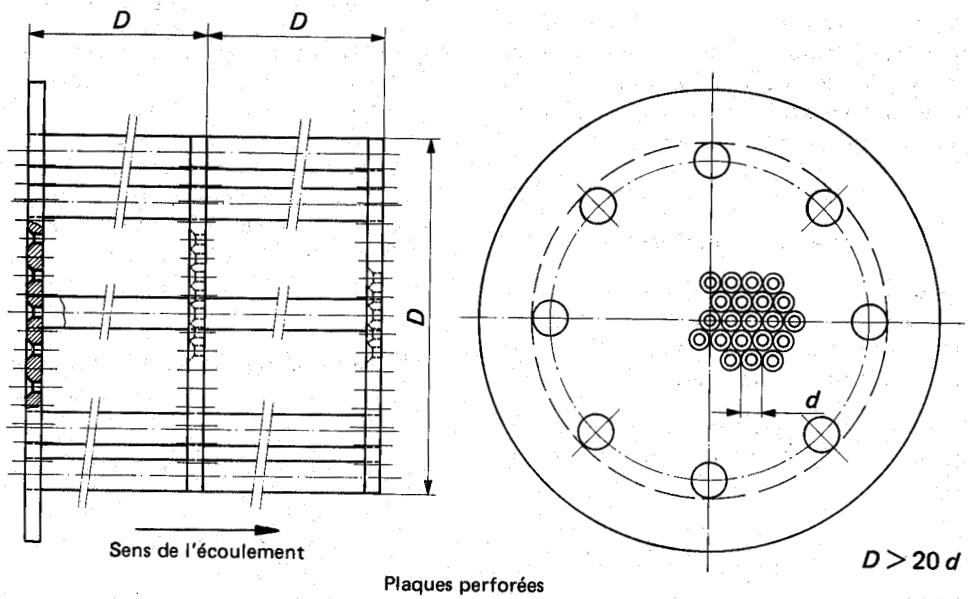
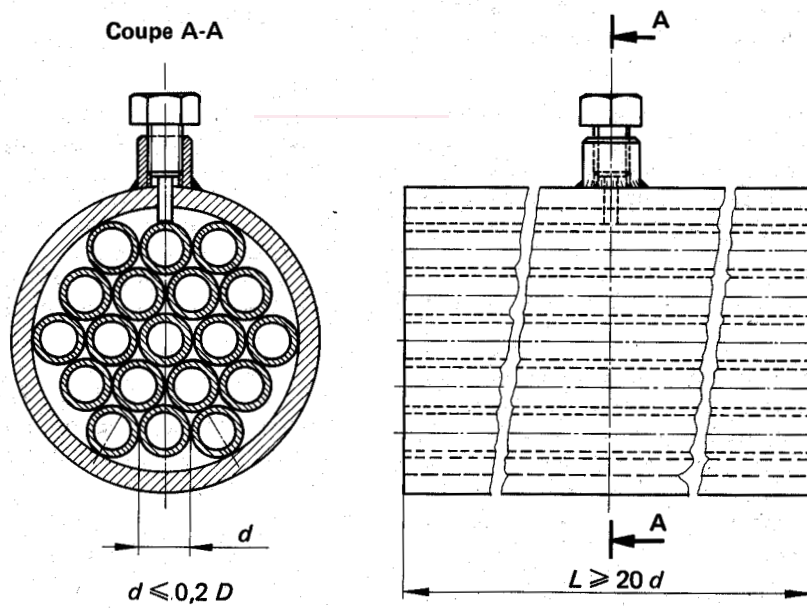


FIGURE 1 — Redresseurs



Modèle B : redresseur SPRENKLE



Modèle C : redresseur à faisceau de tubes

NOTE — Afin de diminuer la perte de pression, l'entrée des trous peut être chanfreinée à 45°.

FIGURE 1 — Redresseurs (fin)