

Date :
(date d'approbation)

Département :
Mission ou Groupe :

Rédacteur : PRISME	Nbre de pages : 37																
	Nbre d'annexes : 7																
Titre : Guide type n° 22 - Mesure de débit																	
Identifiant projet : <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">SYSMNGMT</div>	Référence : <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 10%;">I</td> <td style="width: 10%;">SO</td> <td style="width: 10%;">3</td> <td style="width: 10%;">MM3</td> <td style="width: 10%;">PPPP</td> <td style="width: 10%;">NO</td> <td style="width: 10%;">X</td> <td style="width: 10%;">3385</td> </tr> <tr> <td><small>Filière</small></td> <td><small>Site</small></td> <td><small>Tranche</small></td> <td><small>Zone/Syst.</small></td> <td><small>Emetteur</small></td> <td><small>Type</small></td> <td><small>Domaine</small></td> <td><small>N° Ordre</small></td> </tr> </table>	I	SO	3	MM3	PPPP	NO	X	3385	<small>Filière</small>	<small>Site</small>	<small>Tranche</small>	<small>Zone/Syst.</small>	<small>Emetteur</small>	<small>Type</small>	<small>Domaine</small>	<small>N° Ordre</small>
I	SO	3	MM3	PPPP	NO	X	3385										
<small>Filière</small>	<small>Site</small>	<small>Tranche</small>	<small>Zone/Syst.</small>	<small>Emetteur</small>	<small>Type</small>	<small>Domaine</small>	<small>N° Ordre</small>										
	Ind : <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">A</div>																
Classement : <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">MM3-3</div>	Statut : <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">FUS</div>																

Type de document : Guide méthodologique

Résumé : Dans le cadre de PRISME, projet de rénovation du système de management du CIT lancé en 2011, la présente note a été modifiée vis-à-vis :

- 1) de sa référence. L'ancienne référence de la note est : ISO5MRLPPPPNOS0822,
- 2) des références des documents appelés dans la note et des nouveaux concepts, vocabulaires et sigles amenés par PRISME. Le tableau de correspondance anciennes–nouvelles références PRISME est présenté dans la note ISO3MS4PPPPNOX3118.

Documents associés :

Indice	Rédacteur		Vérificateur		Approbateur	
	Nom/Visa	Date	Nom/Visa	Date	Nom/Visa	Date
Indice en cours	<div style="border: 2px solid red; padding: 10px; display: inline-block; font-size: 2em; font-weight: bold; color: red;">PRISME</div>					
Indice précédent						
Vérification indépendante			Prédiffusion formalisée			
Après de : OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/>			Après de : OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/>			

<input type="checkbox"/> Confidentiel <input type="checkbox"/> Dif. Restreinte <input checked="" type="checkbox"/> Accès E.D.F. <input type="checkbox"/> Accès libre	: L'initiateur établit une liste nominative des destinataires. Chacun d'eux reçoit un exemplaire numéroté et ne peut étendre la diffusion sans l'accord de l'initiateur : L'initiateur établit une liste explicite des destinataires. Chacun d'eux peut étendre la diffusion sous sa responsabilité et dans sa Direction (sur la base d'une liste explicite). : Ne peut être transmis à l'extérieur d'EDF que par un chef de Département : Document public
© EDF 2012	
Protection patrimoine : Sous famille :	





Date : - 9 SEP. 2005
(date d'approbation)

Département : REALISATIONS
Service : ESSAIS

Rédacteur : A ROUDAUT
(adaptation pour le CIT)

Nbre de pages : 37

Nbre d'annexes : 7

Titre : MRL - Volume n° 5 - Chapitre 3 - GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT

Référence :

Ind : Statut :

Code EOTP / Ordre Interne :

I	SO	5	MRL	PPPP	NO	S	0822	A	FUS	E220/001941/EQSE-CIT
---	----	---	-----	------	----	---	------	---	-----	----------------------

Filière Site Tranche Zone/Syst. Emetteur Type Domaine N° Ordre

Type de document : Note d'organisation; plan directeur, plan qualité, lotissement, données d'entrées; procédure, consigne, règle

Résumé : Guide Technique

Ce guide type décrit les différents moyens utilisés pour mesurer les débits de fluides liquides ou gazeux.

Ce document est à insérer dans le MRL Volume 5 Chapitre 3

Documents associés :

Indice	Rédacteur		Vérificateur		Approbateur	
	Nom/Visa	Date	Nom/Visa	Date	Nom/Visa	Date
Indice en cours	<i>(Signature)</i> A. ROUDAUT	8/9/05	<i>(Signature)</i> P. LIJOUR	8/9/05	<i>(Signature)</i> S. FOREST	8/9/05
Indice précédent						
Vérification indépendante			Prédiffusion formalisée			
OUI <input type="checkbox"/> NON <input checked="" type="checkbox"/>			OUI <input type="checkbox"/> NON <input checked="" type="checkbox"/>			
Après de :			Après de :			

- ☐ Confidentiel : L'initiateur établit une liste nominative des destinataires. Chacun d'eux reçoit un exemplaire numéroté et ne peut étendre la diffusion sans l'accord de l'initiateur
- ☐ Dif. Restreinte : L'initiateur établit une liste explicite des destinataires. Chacun d'eux peut étendre la diffusion sous sa responsabilité et dans sa Direction (sur la base d'une liste explicite).
- ☒ Accès E.D.F. : Ne peut être transmis à l'extérieur d'EDF que par un chef de Service
- ☐ Accès libre : Document public

© EDF 2005

Protection patrimoine : Sous famille :

ERQ : OUI ☐ NON ☒



CENTRE D'INGÉNIERIE THERMIQUE



ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 2 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

Indice	Motif d'évolution et modifications apportées
A	Sans objet



ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 3 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

SOMMAIRE :

0- PREAMBULE

1 - GENERALITE

- 1.1 - Définition d'un débit
- 1.2 - Ecoulement
- 1.3 - Viscosité
- 1.4 - Rapport des diamètres
- 1.5 - Coefficient de vitesse d'approche
- 1.6 - Coefficient de débit
- 1.7 - Coefficient de décharge
- 1.8 - Coefficient de détente

2 - MESURE DE DEBIT PAR ORGANES DEPRIMOGENES

- 2.1 - Calcul du débit
- 2.2 - Champ d'application
- 2.3 - Diaphragmes
- 2.4 - Tubes de venturi classique
- 2.5 - Longueurs droites requises
- 2.6 - Mesure de Δp
- 2.7 - Calcul des organes déprimogènes

3 - MESURE DE DEBIT PAR TRACEURS

- 3.1 - Temps de transit
- 3.2 - Dilution

4 - MESURE DE DEBIT PAR JAUGEAGE D'UN RESERVOIR

- 4.1 - Conditions
- 4.2 - Cas d'un liquide
- 4.3 - Cas d'un gaz

5 - MESURE DE DEBIT PAR DEBITMETRE A ULTRASON

- 5.1 - Principe
- 5.2 - Débitmètre à ultrason à sonde accrochable

5.2.1 - A différence de temps de parcours

5.2.2 - A effet Doppler

6 - AUTRES METHODES DE MESURES DE DEBIT

- 6.1 - Par la mesure de la vitesse de l'air
- 6.2 - Par rotamètre
- 6.3 - Par compteur



ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 4 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

ANNEXES:

1 : REFERENCES

2 : SYMBOLES UTILISES

3 : VISCOSITE CINEMATIQUE DE L'EAU SOUS PRESSION

4 : VISCOSITE CINEMATIQUE DE L'AIR A PRESSION DE 1 bar
ABSOLU

5 : CALCUL DE LA MASSE VOLUMETRIQUE DE L'AIR

6 : EVALUATION DU COEFFICIENT DE CORRECTION

7 : PROPAGATION DU SON DANS QUELQUES MILIEUX



ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 5 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

0 PREAMBULE

Ce guide-type a pour but de préciser les méthodes, les précautions à prendre pour effectuer des mesures de débit dans de bonnes conditions.

1 GENERALITES

1.1. Définition d'un débit

Un débit de fluide, c'est une quantité de ce fluide qui s'écoule à travers une section pendant un temps.

1.1.1. Débit volumique

Volume de fluide traversant une section d'une conduite pendant un temps. Le fluide est considéré dans les conditions de température et de pression où au moment de son passage dans la dite section.

$$Q_v = \frac{V}{t} \rightarrow Q_v = s \cdot v$$

V : volume du fluide (m³)
 s : section de la veine de fluide (m²)
 v : vitesse du fluide (m/s)

le débit volumique s'exprime en m³/s ou en m³/h

équation aux dimensions est L³T⁻¹.

1.1.2. Débit massique

Masse de fluide traversant la section d'une conduite pendant un temps.

$$Q_m = \frac{M}{t} \rightarrow Q_m = p \cdot V \cdot \frac{1}{t}$$

M : masse du fluide (kg)
 p : masse volumique du fluide (kg/m³)

$$\rightarrow Q_m = p \cdot s \cdot v$$

le débit massique s'exprime en kg/s

l'équation aux dimensions est M.T⁻¹

1.2. Ecoulement

Le déplacement des molécules de fluide (liquide ou gaz) dans une conduite peut se faire de façon agitée, turbulente (tourbillons) ou de façon plus calme que l'on appellera "laminaire".

Pour caractériser l'écoulement d'un fluide dans une tuyauterie, on détermine son "nombre de Reynolds" :

$$R_e = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

D : diamètre de la tuyauterie (m)
 ν : viscosité cinématique du fluide m²/s

$$v \cdot D$$

R_e est un nombre sans dimension.

La formule avec le débit Q en m³/s est souvent plus pratique.



ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 6 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

$$Q = v.s = v. \frac{\pi}{4} . D^2$$

$$\Rightarrow Re = 1,273. \frac{Q}{D.v}$$

Pour $Re < 2000$ écoulement laminaire

$Re > 3000$ écoulement turbulent

$2000 < Re < 3000$ écoulement laminaire instable avec des zones d'écoulement turbulent.

1.3. Viscosité

Grandeur qui caractérise la force à exercer pour déplacer les particules de fluide les unes par rapport aux autres.

1.3.1. Viscosité dynamique

C'est une grandeur propre à chaque fluide, elle est pratiquement indépendante de la pression, mais non de la température.

- symbole utile : η ou μ

- son unité est le Pascal.seconde (Pa.s) $ML^{-1}T^{-1}$

L'air à 20°C a une viscosité dynamique de 17,3 μ Pa.s ;
l'eau possède une viscosité dynamique de 1 m Pa.s.

1.3.2. Viscosité cinématique

C'est la viscosité dynamique divisée par la masse volumique.

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

- Son unité est le m^2/s ($L^2 T^{-1}$)

L'air à 20° C et 1013 hPa a une viscosité cinématique d'environ : $13.10^{-6} m^2/s$

l'eau pour la même température $v = 1.10^{-6} m^2/s$

ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 7 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

1.4. Rapport des diamètres

C'est le quotient du diamètre (d) de l'orifice de l'élément primaire et de diamètre (D) intérieur de la conduite, en amont de cet élément primaire.

$$\beta = \frac{d}{D}$$

1.5. Coefficient de vitesse d'approche

Coefficient défini par la formule :

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

1.6. Coefficient de débit

Coefficient défini, dans le cas d'un écoulement de fluide isochore (c à d considéré comme incompressible) par la formule.

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

Δp : pression différentielle

ρ_1 : masse volumique du fluide dans les conditions amont.

1.7. Coefficient de décharge

$$C = \frac{\alpha}{E}$$

Nota : les normes NF X 10 102 et NF X 10 104 donnent les valeurs numériques de C et de α en fonction de β et Re_D pour des diamètres (D) de tuyauterie.

Avec Re_D : Re pour une tuyauterie de diamètre D.

1.8. Coefficient de détente

Dans le cas d'un écoulement de fluide compressible, coefficient défini par la formule suivante :

$$\alpha = \frac{Q_m}{\frac{\pi}{4} \cdot C \cdot E \cdot d^2 \sqrt{2 \cdot \Delta p \cdot \rho_1}}$$

si le fluide est incompressible, ε est égale à 1.



ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 8 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

2 MESURE DE DEBIT PAR ORGANES DEPRIMOGENES

Les organes déprimogènes normalisés sont les suivants :

- le diaphragme,
- les tuyères (non traité dans ce document),
- les tubes de venturi.

Nous rappelons que l'avantage de ces systèmes réside dans le fait qu'ils ne nécessitent aucun étalonnage dans la nature où l'on respecte intégralement toutes les conditions imposées par la norme.

2.1. Calcul du débit

Quel que soit le type d'organe déprimogène employé et la nature du fluide, le débit massique se calcule par la formule suivante :

$$Q_m = C.E.\varepsilon \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \sqrt{2 \cdot \Delta p \cdot \rho_1}$$

2.2. Champ d'application

Le champ d'application est généralement limité par :

- le diamètre de la tuyauterie,
- le rapport β des diamètres d'ouverture du diaphragme ou du col de tuyère au diamètre de la tuyauterie,
- la valeur du nombre de Reynolds,
- l'état du fluide,
- la perte de charge.

2.3. Diaphragme

Il peut mesurer le débit de tous fluides non chargés.

2.3.1. Types

- à prises de pression à la bride (fig. 1 - § 2.3.3),
- à prises de pression D et D/2 (fig. 1 - § 2.3.3),
- à prises de pression dans les angles (fig. 2 - § 2.3.3).

ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 9 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

2.3.2. Limites d'emploi

TYPE	d (mm)	D (mm)	β	$R_e D$	Pour
Prises à la bride	$\geq 12,5$	$50 \leq D \leq 760$	$0,2 \leq \beta \leq 0,75$	$\geq 1260 \beta^2 D$ $\geq 10^{-8}$	
Prises D et D/2	$\geq 12,5$	$50 \leq D \leq 760$	$0,2 \leq \beta \leq 0,75$	$\leq 1260 \beta^2 D$ $\geq 10^{-8}$	
Prises dans les angles	$\geq 12,5$	$50 \leq D \leq 1000$	$0,2 \leq \beta \leq 0,8$	$5000 \leq R_e D \leq 10^{-8}$	$0,23 \leq \beta \leq 0,45$
				$10000 \leq R_e D \leq 10^{-8}$	$0,45 \leq \beta \leq 0,77$
				$20000 \leq R_e D \leq 10^{-8}$	$0,77 \leq \beta \leq 0,8$

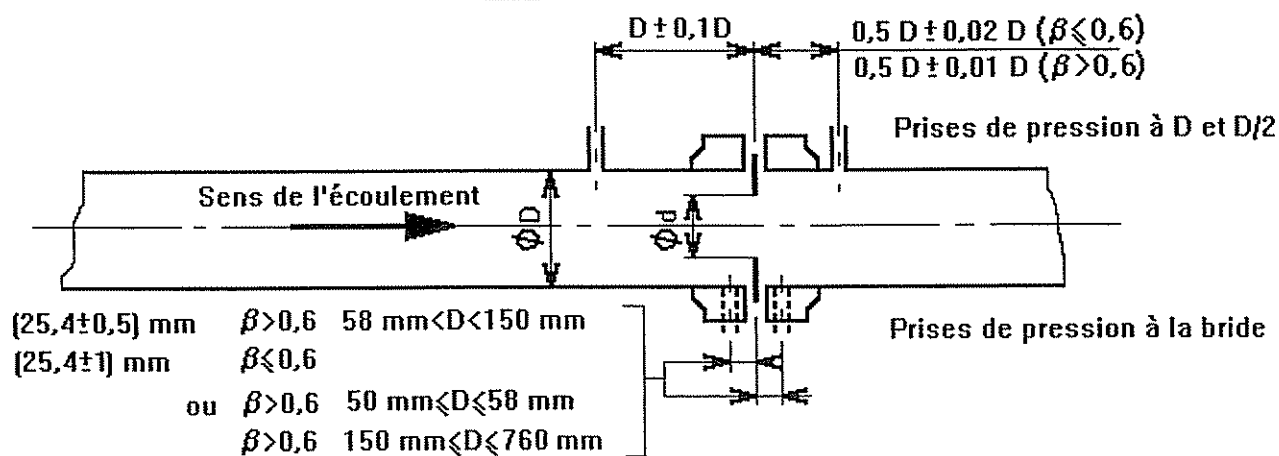
2.3.3. Eloignement des prises de pression.

TYPE	β	D (mm)	PRISE AMONT (A)	PRISE AVAL (B)	REMARQUES
Prises à la bride	$> 0,6$	$58 < D < 150$	$25,4 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$	$25,4 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$	A mesurer à partir de la face amont du diaphragme
	$\leq 0,6$	VD	$25,4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$	$25,4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$	
	$> 0,6$	$50 < D < 58$	$25,4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$	$25,4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$	B mesuré à partir de la face aval du diaphragme
	$> 0,6$	$150 \leq D \leq 760$	$25,4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$	$25,4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$	
Prise D et D/2	$\leq 0,6$		$D \pm 0,1 D$	$0,5 D \pm 0,02 D$	A et B sont mesurés à partir de la face amont du diaphragme
	$> 0,6$		$D \pm 0,1 D$	$0,5 D \pm 0,01 D$	
Prise dans les angles	Les prises de pression débouchent au ras des faces de la plaque; elles peuvent être des fentes annulaires. Ces types de prises peuvent être placées soit sur la conduite ou sur les brides, soit dans une bague piézométrique (1) ou une chambre annulaire.				

(1) Dispositif, mesurant à l'aide de jauges de contrainte, la différence de pression entre amont et aval du diaphragme.

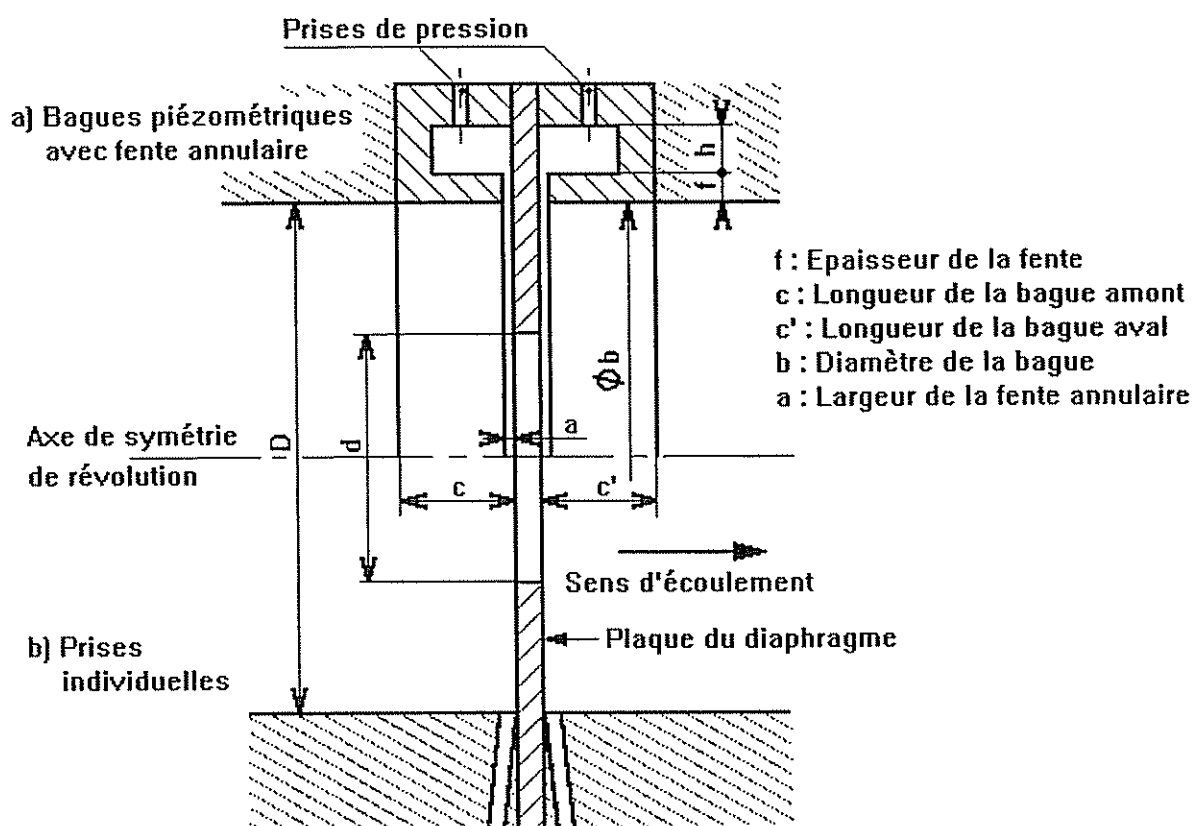
**ELOIGNEMENT DES PRISES DE PRESSION POUR LES
DIAPHRAGMES
A PRISES DE PRESSION A D ET D/2 ET A PRISES DE
PRESSION A LA BRIDE**

Figure 1



PRISES DE PRESSION DANS LES ANGLES

Figure 2



ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 12 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

2.3.4. Dimensions du diaphragme

. épaisseur e : $0,005 D < e < 0,02 D$

. épaisseur E : $e < E < 0,05 D$

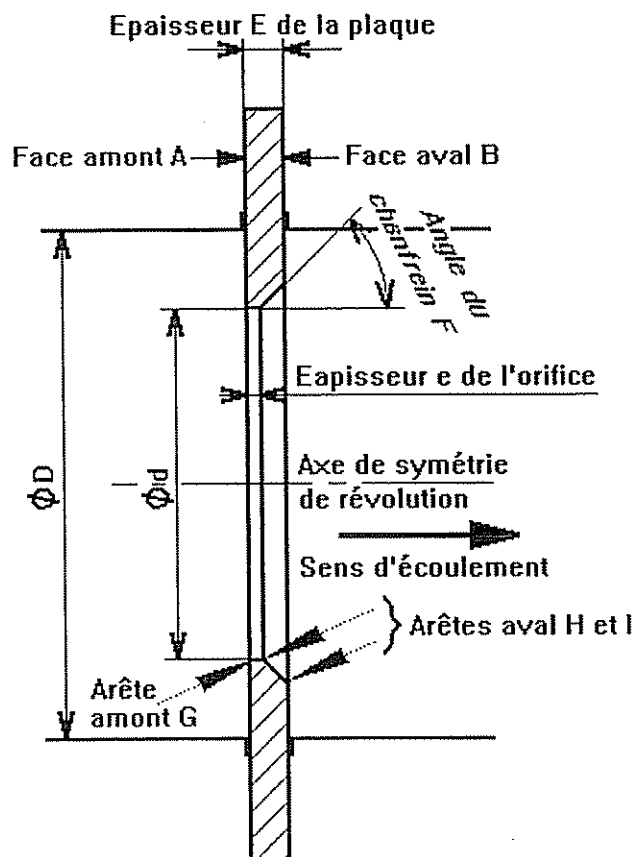
Les valeurs de e ou E mesurées en des points quelconques de l'orifice ou de la plaque ne doivent pas différer entre elles de plus de $0,001 D$.

. angle du chanfrein F :

$$30^\circ < \alpha < 45^\circ \text{ si } E > e$$

. les arêtes G , H et I ne doivent présenter ni morfil, ni bavure, ni, en général, aucune singularité visible à l'œil.

Nota : le chanfrein se trouve du côté aval de l'écoulement.



Plaque de diaphragme normal

ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 13 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

2.4. Tubes de venturi classique

2.4.1. Types

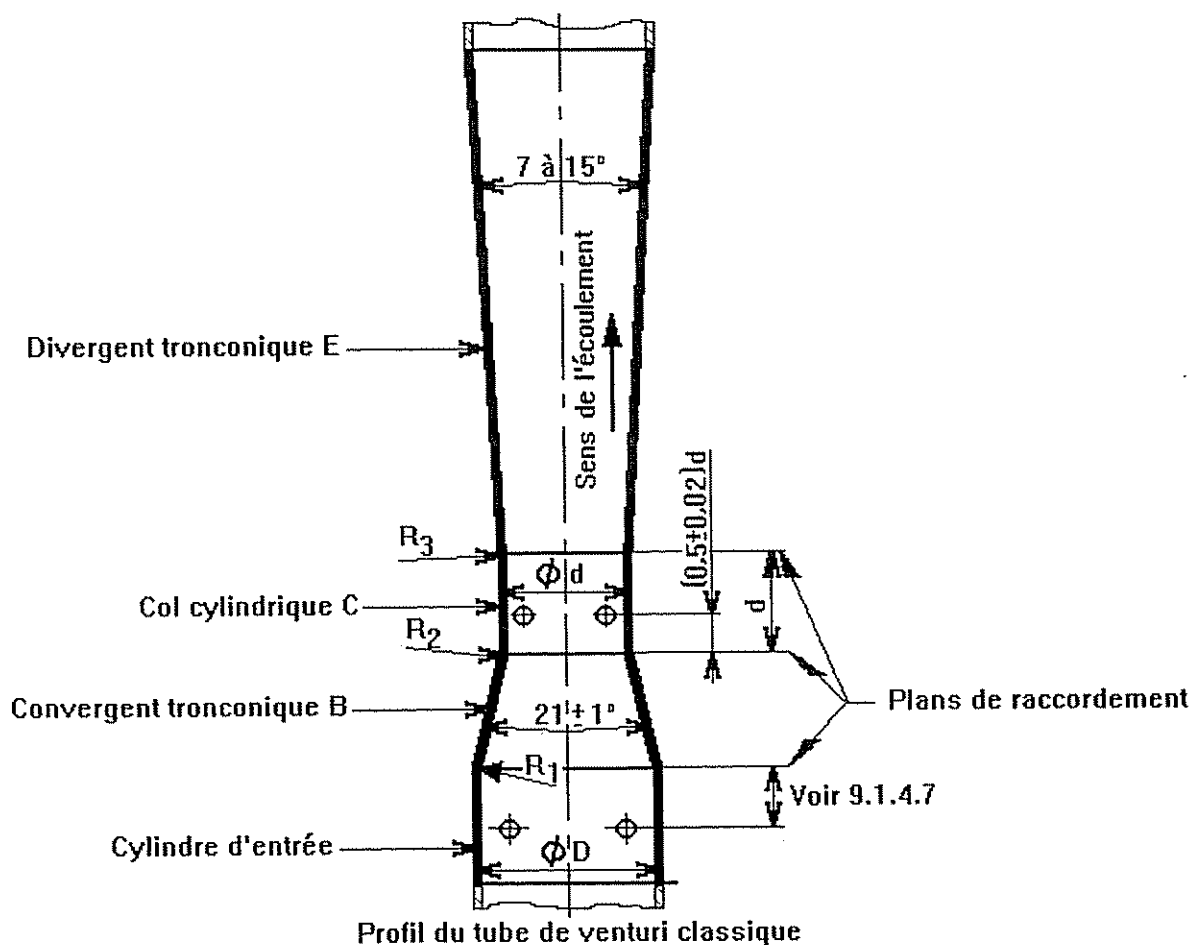
Il en existe trois :

- à convergent brut de fonderie
- à convergent usiné
- à convergent à tôle brute

Voir fig. ci-après

2.4.2. Limite d'emploi

TYPE	D (mm)	β	$R_e D$
Brut de fonderie	$100 \leq D \leq 800$	$0,3 \leq \beta \leq 0,75$	$2.10^5 \leq R_e D \leq 2.10^6$
Convergent usiné	$50 \leq D \leq 250$	$0,4 \leq \beta \leq 0,75$	$2.10^5 \leq R_e D \leq 1.10^6$
Tôle soudée brute	$200 \leq D \leq 1200$	$0,4 \leq \beta \leq 0,7$	$2.10^5 \leq R_e D \leq 2.10^6$





ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 14 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

2.4.3. Principales dimensions

La prise de pression amont est située sur le cylindre d'entrée (A). Son éloignement est mesuré à partir du plan d'intersection du cylindre d'entrée et du prolongement du convergent B pour le venturi à convergent brut de fonderie. Ceux des venturis à convergent usiné et à convergent en tôle soudée brute sont comptés à partir du plan d'intersection du cylindre et du convergent.

La prise de pression aval est située sur le cylindre (C) situé entre les deux convergents. Son éloignement est mesuré à partir de l'intersection du premier convergent et du col (C).

TYPE	A	C	PRISE AMONT	POUR (en mm)	PRISE AVAL
Brut de fonderie	\geq à la plus petite des 2 valeurs de D et $0,25 D + 250 \text{ mm}$	d	$0,5 D \pm 0,25 D$	$100 \leq D \leq 150$	$0,5 d \pm 0,02 d$
			$0,5 D \pm 0,25 D$	$150 \leq D \leq 800$	$0,5 d \pm 0,02 d$
Convergent usiné	$\geq D$	d	$0,5 \pm 0,05 D$		$0,5 d \pm 0,02 d$
Tôle soudée brute	$\geq D$	d	$0,5 \pm 0,05 D$		$0,5 d \pm 0,02 d$

ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 15 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

2.5. Longueurs droites requises

2.5.1. Pour les diaphragmes

Toutes les longueurs droites sont exprimées en multiple du diamètre D de la tuyauterie. Elles doivent être mesurées à partir de la place 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 1,5 D à 3 D	Evasement de 0,5 D à D sur une longueur de 1 D à 2 D	Robinet à soupape grand ouvert	Robinet à opercule	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)
	Accessoires					Longueur droite minimale nécessaire en amont		
Pour toutes valeurs de β	Brusque réduction symétrique de rapport de diamètre $\geq 0,5$					30 (15)		
	Poche à thermomètre ou puits de diamètre $\leq 0,03 D$					5 (3)		
	Poche à thermomètre ou puits de diamètre compris entre 0,03 D et 0,13 D					20 (10)		

ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 16 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

2.5.2. Pour les tubes de venturi classiques

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.

Les valeurs entre parenthèses impliquent une erreur supplémentaire de $\pm 0,5 \%$.

Les longueurs droites à l'aval, pour tous les accessoires ou obstacles situés au moins à quatre fois le diamètre du col, à partir du plan des prises de pression celui-ci, n'affectent pas la justesse des mesures.

Rapport des diamètres β	Coude simple à 90° à rayon	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 3,5 D	Evasement de 0,75 D 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 (1,5)	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 40 D, il ne peut être donné, dans le tableau, de valeurs sans parenthèses.

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

ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 17 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

2.6. Mesure de ΔP

Les mesures de pression se font conformément au **guide-type n° 19** "mesure de pression", ainsi que les corrections éventuelles dues à l'implantation du capteur de pression.

2.7. Calcul des organes déprimogènes

Pour le calcul ou vérification des diaphragmes ou venturi, il est nécessaire de se reporter aux normes NF X 10 102 et NF X 10 104 pour effectuer ces opérations.

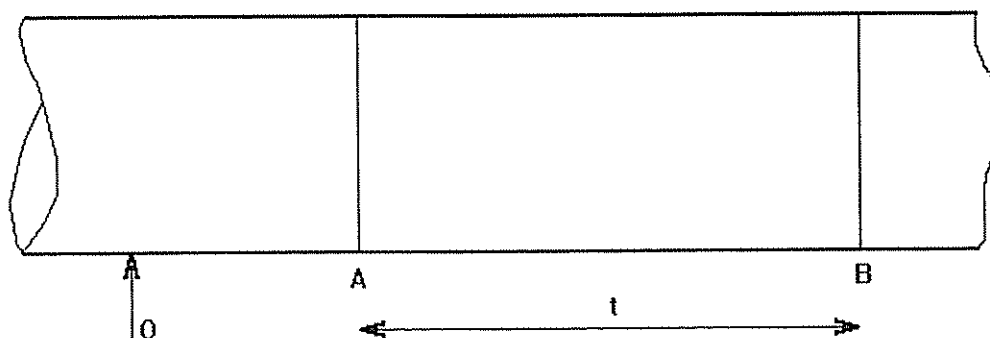
3 MESURE DE DEBIT PAR TRACEURS

Il y a deux méthodes principales de mesure par traceur :

- méthode par temps de transit,
- méthode par dilution.

3.1. Temps de transit

Le traceur est injecté dans la conduite, on mesure le temps mis par le traceur pour parcourir la distance connue définie par deux sections de mesure. Au droit de chacune de ces deux sections se fait la détermination des instants de passage.



Le traceur est injecté en O.
Le volume (V) du tronçon de mesure compris entre A et B.
t : temps de parcours du traceur de A à B.

$$Q = \frac{V}{t}$$

ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 18 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

3.2. Dilution

On injecte une solution de traceur dans l'écoulement et on mesure la concentration.

Il existe deux procédés, fondés sur le principe de la dilution :

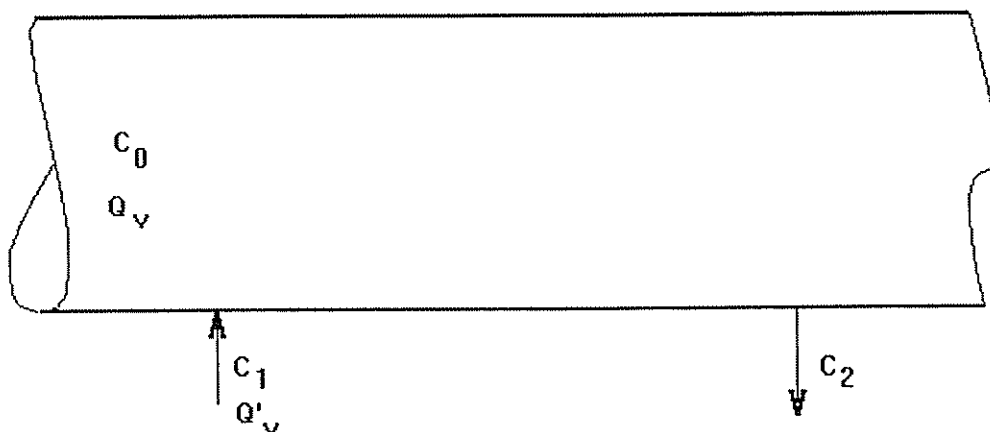
- la méthode à débit constant,
- la méthode par intégration (injection instantanée).

3.2.1. Injection à débit constant

c_0 : concentration initiale dans l'écoulement.

c_1 : concentration du traceur introduit en continu avec un débit volume constant Q'_v .

c_2 : concentration du traceur mesuré à partir de prélèvements effectués à une distance de l'injection suffisante pour que le mélange soit homogène.



$$C_0 Q_v + C_1 Q'_v = C_2 (Q'_v + Q_v)$$

$$Q_v = Q'_v \frac{C_1 - C_2}{C_2 - C_0}$$

En général C_1 est beaucoup plus grand que C_2 , et C_2 est beaucoup plus grand que C_0

$$\text{donc } Q_v = Q'_v \frac{C_1}{C_2}$$

ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 19 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

3.2.2. Méthode d'intégration

On introduit rapidement dans l'écoulement une certaine quantité de traceur, quantifiée par sa masse ou son activité (A). On mesure la répartition de la concentration dans le temps en un point situé au delà de la distance de bon mélange.

$$Q = \frac{A}{C \cdot dt}$$

ou C est la concentration instantanée.

4 MESURE DE DEBIT PAR JAUGEAGE D'UN RESERVOIR

4.1. Conditions

- . le circuit doit être étanche,
- . les tuyauteries sont entièrement remplies de fluide,
- . l'évolution de la température entre les relevés doit être nulle ou très faible.

4.2. Cas d'un liquide

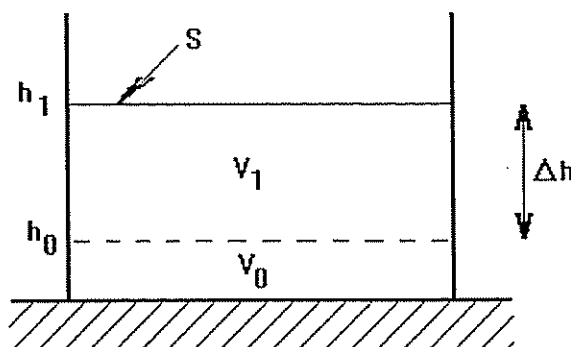
On doit connaître la relation volume-niveau. On détermine la section du réservoir en effectuant la mesure de 4 diamètres au minimum, en bas de bêche, si possible, à mi hauteur et en haut.

$$S = \frac{\pi}{4 \cdot n} \sum_{i=1}^n D_i^2 \quad \begin{array}{l} n = \text{nombre de mesures} \\ D_i = \text{diamètres} \end{array}$$

Les mesures des hauteurs de fluide dans le bidon, ou son delta se font avec un niveau visible (en vinyle transparent) de diamètre supérieur à 20 mm.

$$\text{alors } Q_v = \frac{V_1 - V_2}{t} \Rightarrow Q_v = \frac{S}{t} \cdot (h_1 - h_0) \text{ ou } Q_v = \frac{S}{t} \cdot \Delta h$$

avec S : section de la bêche et t : temps pour passer de h_0 à h_1

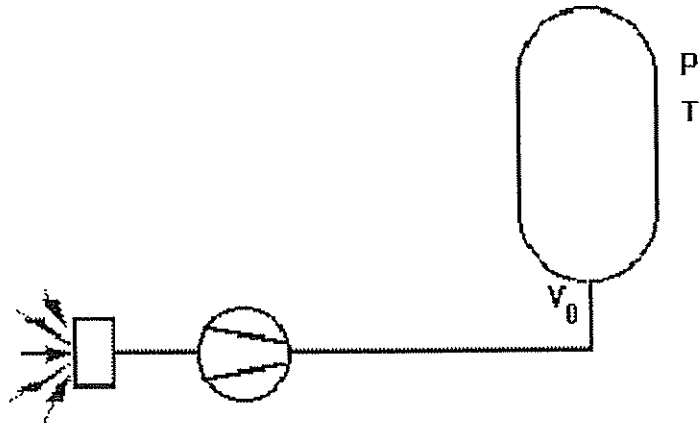


ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 20 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

- la variation de volume doit être compatible avec la précision recherchée,
- les mesures se font de préférence dans la partie où la relation niveau-volume est linéaire,
- on effectuera de préférence des mesures directes du h. (limitation des erreurs),
- le décalage entre niveau de la bête et niveau visible sera estimé (on "tire au vide" lors d'une vidange) et on en tiendra compte dans la précision de la mesure.

4.3. Cas d'un gaz

On doit connaître le volume du réservoir et des tuyauteries l'alimentant.



équation de Mariotte (gaz parfait)

(pour les mesures en air, cette relation bien qu'approchée est également utilisée)

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = \text{cte}$$

Une quantité de gaz qui occupait un volume V_1 à la pression p_1 et à la température T_1 peut aussi occuper un volume V_2 à la pression p_2 et à la température T_2 .

Calcul du débit

$$Q_v = \frac{\Delta V}{t}$$

$\Delta V = V_2 - V_1$: variation de volume en Nm^3
 t : temps de passage de V_1 à V_2

Soit un volume V_1 à une pression p_1 et à une température T_1 , on cherche V'_1 exprimé en Nm^3 à la pression de 1013 hPa (p_0) et à 273 K (T_0).

ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 21 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_0 \cdot V'_1}{T_0}$$

$$\text{Soit : } V'_1 = \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} \cdot \frac{T_0}{p_0}$$

$$\text{De même : } V'_2 = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \cdot \frac{T_0}{p_0}$$

$V_1 = V_2 = V_0$ volume du ballon et de la tuyauterie :

$$\Delta V = V'_2 - V'_1$$

$$Q_V = \frac{V_0 \cdot T_0}{t \cdot p_0} \cdot \frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1}$$

$$\text{D'où } Q_V = \frac{V_0}{t} \cdot \frac{T_0}{p_0} \cdot \frac{p_1}{T_2} \cdot \left[\frac{\Delta p}{p_1} - \frac{\Delta T}{T_1} \right] \quad \begin{array}{l} \text{avec } \Delta p = p_1 - p_2 \\ \Delta T = T_1 - T_2 \end{array}$$

dans les conditions générales $T_1 = T_2 = T$

$$Q_V = \frac{V_0}{t} \cdot \frac{T_0}{p_0} \cdot \frac{\Delta p}{T}$$

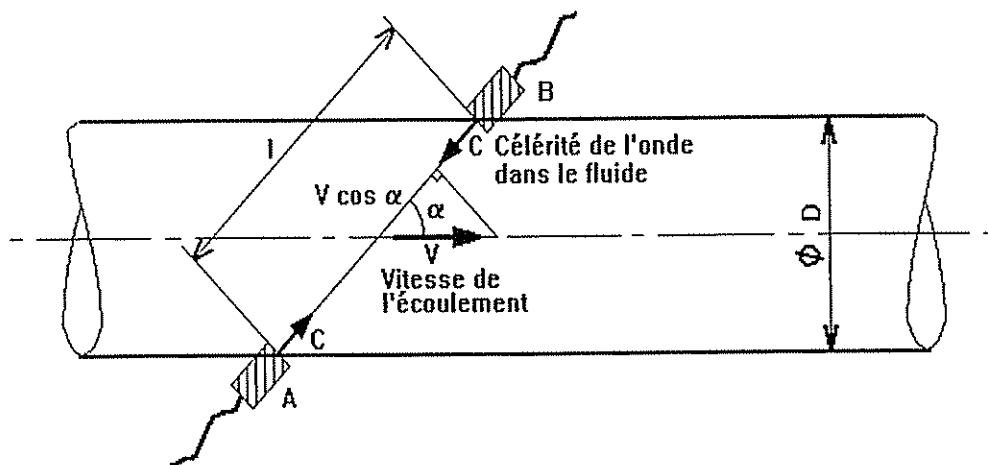
Le débit Q_V est ramené aux conditions normales de pression et de température (1013 hpa et 273 k). Il est exprimé en Nm^3/s ou Nm^3/h ou multiple ou sous multiple.

5 MESURE DE DEBIT PAR DEBITMETRE A ULTRASON

5.1. Principes

Ces appareils exploitent essentiellement la modification du temps de parcours d'une onde ultrasonore par la vitesse d'un fluide.

Un élément de conduite est équipé d'une paire de transducteur à ultrason A et B, suivant un axe incliné par rapport à l'axe longitudinal de la conduite, dans un plan diamétral.



La méthode est basée sur la composition vectorielle de la vitesse du son avec la vitesse du fluide. En effet, quand le fluide est en mouvement, à la vitesse V correspondant un vecteur vitesse $V \cdot \cos \alpha$ sur la ligne de propagation AB de l'onde.

Si C est la célérité du son dans le fluide au repos nous avons :

- une onde $A \rightarrow B$ à la vitesse $C + V \cos \alpha$
- une onde $B \rightarrow A$ à la vitesse $C - V \cos \alpha$

Les temps de parcours de ces deux ondes se propageant sur la distance " l " sont donc:

$$t_{AB} = \frac{l}{C + V \cos \alpha} \quad \text{et} \quad t_{BA} = \frac{l}{C - V \cos \alpha}$$

$$\rightarrow \Delta t = \frac{2 \cdot l \cdot V \cos \alpha}{C^2 - (V \cdot \cos \alpha)^2} \quad (V \cdot \cos \alpha)^2 \text{ est négligeable devant } C^2$$

$$\rightarrow V = \frac{t \cdot C^2}{2 \cdot l \cdot V \cdot \cos \alpha}$$

La vitesse mesurée dépend de Δt mais également de la valeur de la célérité du son. Ce terme est lié à la nature, à la température et à la pression du fluide. Il est calculé à partir de la mesure de chaque temps de parcours t_{AB} et t_{BA} .

$$\frac{1}{t_{AB} \cdot t_{BA}} \cdot \frac{C^2}{l^2} \rightarrow V = \frac{t}{t_{AB} \cdot t_{BA}} \cdot \frac{l}{2 \cdot \cos \alpha}$$

si S est l'aire de la section droite de la canalisation à l'emplacement de la ligne de mesure:

ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 23 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

$$\rightarrow Q = K \cdot S \cdot V = K \cdot S \cdot \frac{t}{t_{AB} + t_{BA}} \cdot \frac{l}{2 \cdot \cos \alpha}$$

K est un coefficient reliant la vitesse moyenne résultant de l'intégration le long de la corde de mesure et la vitesse moyenne du fluide suivant la section.

Détermination de K :

$$K = \frac{V_s}{V}$$

V_s : vitesse moyenne dans la section
 V : vitesse moyenne sur le diamètre
(vitesse mesurée par les ultrasons)

$$K = \frac{2 \cdot n}{1 + 2 \cdot n}$$

avec $\frac{1}{n} = 0,25 - 0,023 \cdot \log R_e$

5.2. Débitmètre à ultrason à sonde accrochable

Concerne les débitmètres dont les transducteurs sont disposés sur la paroi externe de la conduite.

Deux techniques de mesure sont exploitées. Elles sont basées :

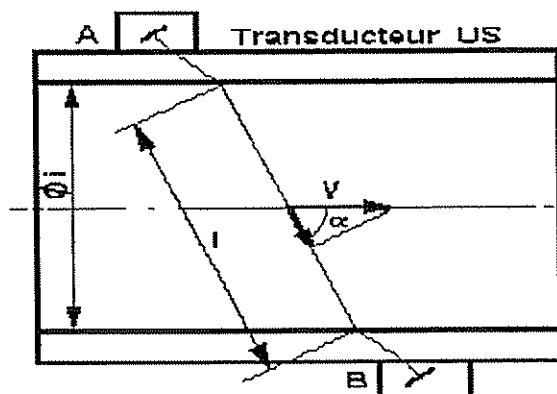
- sur la modification de la vitesse des ondes ultrasonores par le fluide en mouvement,
- sur l'utilisation de l'effet Doppler.

5.2.1. Débitmètre à différence de temps de parcours

Ce sont des débitmètres moco corde. La composition vectorielle de la vitesse du son et de la vitesse du fluide est exploitée pour donner une différence de temps de parcours liée au débit.

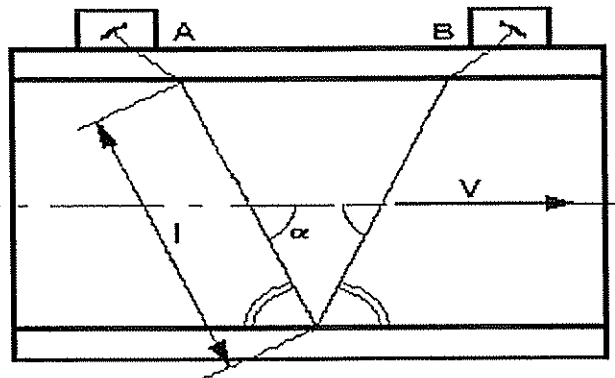
Il existe deux configurations de montage :

Montage en Z



$$\Delta t_1 = \frac{2Vl \cos \alpha}{c^2}$$

Montage en V



$$\Delta t_2 = \frac{4Vl \cos \alpha}{c^2}$$

Configuration de montage des sondes

5.2.1.1. Positionnement des transducteurs

Les transducteurs A et B sont du type oblique. L'axe de propagation de leur faisceaux acoustiques possède un angle sur une tuyauterie. Dans ces conditions les trajets acoustiques ne sont pas rectilignes.

En effet l'incidence oblique d'un faisceau acoustique sur une interface constituée de matériaux de natures différentes donne naissance à divers types d'ondes réfléchies et transmises.

La loi de Snelle-Descartes permet de déterminer les directions des ondes réfléchies et transmises lorsque l'on connaît celle de l'onde incidente ainsi que la célébrité des diverses ondes dans les matériels considérées.

$$\frac{\sin \alpha_1}{c_1} = \frac{\sin \alpha_2}{c_2} = \frac{\sin \alpha_3}{c_3}$$

Le positionnement des transducteurs est théoriquement obtenu par l'application de cette relation, compte-tenu de la connaissance des éléments décrits ci-après.



ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 26 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

de la conduite diamétralement opposées (montage en Z) est défini par les deux relations suivantes :

$$(Z) \quad d = d_3 + 2d_2 - 2d_1$$

$$(V) \quad d = 2d_3 + 2d_2 - 2d_1$$

avec $d_2 = e \cdot \tan \alpha_2$ et $d_3 = D \cdot \tan \alpha_3$

D'une manière plus générale l'expression de la distance de positionnement des traducteurs peut être simplifiée sous la forme :

$$(Z) \quad d = \frac{K_1}{2} \cdot D + K_2 e - 2 d_1$$

$$(V) \quad d = K_1 D + K_2 e - 2 d_1$$

avec $K_1 = 2 \tan \alpha_3$ et $K_2 = 2 \tan \alpha_2$

5.2.1.2. Calibration du débitmètre

Il est possible de calibrer l'appareil à partir des données géométriques de la tuyauterie, de la vitesse moyenne du fluide relative au débit maximum à mesurer.

La différence de temps de trajet correspond pour un temps de trajet total moyen de :

Pour un montage en Z ou simple parcours:

$$t = \frac{2 V_z d_3}{C_3^2} \cdot KH \quad KH \text{ représente le coefficient lié au profil d'écoulement.}$$

ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 27 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

$$KH = \frac{V_{us}}{V_s} ; KH = \frac{1}{K} = 1 + \frac{1}{2} \cdot (0,25 - 0,023 \cdot \log Re)$$

$$\Rightarrow Vz = \frac{t \cdot C_3^2}{2 \cdot d_3} \cdot \frac{1}{KH}$$

$$Q = V \cdot S$$

$$\Rightarrow Q_z = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{1}{KH} \cdot \frac{C_3^2}{2 \cdot d_3} \cdot \Delta t$$

$$\text{avec } \Delta t = (t_{BA} - t_0) - (t_{AB} - t_0)$$

T_0 : temps de propagation dans la semelle de la sonde et dans la paroi de la tuyauterie.

$$C_3^2 \# \frac{l_3}{t_{AB} - t_0} \cdot \frac{l_3}{t_{BA} - t_0}$$

$$\Rightarrow Q_z \# \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{1}{KH} \cdot \frac{l_3^2}{2 \cdot d_3} \cdot \frac{(t_{BA} - t_0) - (t_{AB} - t_0)}{(t_{AB} - t_0) \cdot (t_{BA} - t_0)}$$

$$\Rightarrow Q_z \# \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{1}{KH} \cdot \frac{C}{2 \cdot d_3} \cdot \frac{1}{t_{AB} - t_0} - \frac{1}{t_{BA} - t_0}$$

$$\cos \alpha_3 = \frac{D}{l_3} \Leftrightarrow l_3 = \frac{D}{\cos \alpha_3}$$

$$\tan \alpha_3 = \frac{d_3}{D} \Leftrightarrow d_3 = D \cdot \tan \alpha_3$$

$$\Rightarrow \frac{l_3^2}{d_3} = \frac{D}{\cos^2 \alpha_3 \cdot \tan \alpha_3}$$

ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 28 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

$$\text{On pose } K' = \frac{1}{KH} \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha_3 \cdot \tan \alpha_2} = \frac{1}{D} \cdot \frac{1}{KH} \cdot \frac{l_3^2}{d_3}$$

$$\Rightarrow Q_z = \frac{\pi \cdot D^2}{8} \cdot K' \cdot \frac{1}{(t_{AB} - t_0)} - \frac{1}{(t_{BA} - t_0)}$$

- calcul du temps total de propagation (t) de la sonde A à la sonde B.

$$t_1 = \frac{l_1}{C_1} \quad l_1 \text{ et } C_1 : \text{valeurs données par le constructeur}$$

$$t_2 = \frac{e}{\cos \alpha_2} \cdot \frac{1}{C_2}$$

$$t_3 = \frac{D}{\cos \alpha_3} \cdot \frac{1}{C_3}$$

$$t = 2 \cdot t_1 + 2 \cdot t_2 + t_3$$

$$t = \frac{2 \cdot l_1}{C_1} + \frac{2 \cdot e}{\cos \alpha_2 \cdot C_2} + \frac{D}{\cos \alpha_3 \cdot C_3}$$

$$t = k_1 + k_2 e + k_3 D \quad \text{avec : } k_1 = \frac{2 \cdot l_1}{C_1}$$

$$k_2 = \frac{2}{C_2 \cdot \cos \alpha_2}$$

$$k_3 = \frac{1}{C_3 \cdot \cos \alpha_3}$$

Pour un montage en V ou double parcours

$$\Delta t = \frac{4 \cdot V_V \cdot d_3}{C_3^2} \cdot KH$$



ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 29 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

$$\Rightarrow V_V = \frac{\Delta t - C_3^2}{4 \cdot d_3} \cdot KH$$

$$Q = V \cdot S$$

$$\Rightarrow Q_V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{1}{KH} \cdot \frac{C_3^2}{4 \cdot d_3} \cdot \Delta t$$

$$\text{avec } \Delta t = (t_{BA} - t_0) - (t_{AB} - t_0)$$

$$C_3^2 \# \frac{2l_3}{t_{AB} - t_0} \cdot \frac{2l_3}{t_{BA} - t_0}$$

$$Q_V \# \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{1}{KH} \cdot \frac{4 \cdot l_3^2}{4 \cdot d_3} \cdot \frac{(t_{BA} - t_0) - (t_{AB} - t_0)}{(t_{AB} - t_0) \cdot (t_{BA} - t_0)}$$

$$Q_V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{1}{KH} \cdot \frac{l_3^2}{d_3} \cdot \frac{1}{t_{AB} - t_0} \cdot \frac{1}{t_{BA} - t_0}$$

$$\Rightarrow Q_V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot K' \left[\frac{1}{t_{AB} - t_0} - \frac{1}{t_{BA} - t_0} \right]$$

- calcul du temps de propagation (t) de la sonde A à la sonde B

$$t_1 = \frac{l_1}{C_1} \quad l_1 \text{ et } C_1 : \text{valeurs données par le constructeur}$$

$$t_2 = \frac{e}{\cos \alpha_2} \cdot \frac{1}{C_2}$$

$$t_3 = \frac{2 \cdot D}{\cos \alpha_3} \cdot \frac{1}{C_3}$$

$$t = 2 \cdot t_1 + 2 \cdot t_2 + t_3$$

$$t = K_1 + K_2 \cdot e + 2 \cdot K_3 \cdot D$$

$$\text{avec } K_1 = \frac{2 \cdot l_1}{C_1}, \quad K_2 = \frac{2}{\cos \alpha_2 \cdot C_2}, \quad K_3 = \frac{1}{\cos \alpha_3 \cdot C_3}$$

ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 30 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

5.2.1.3. Conditions d'utilisation

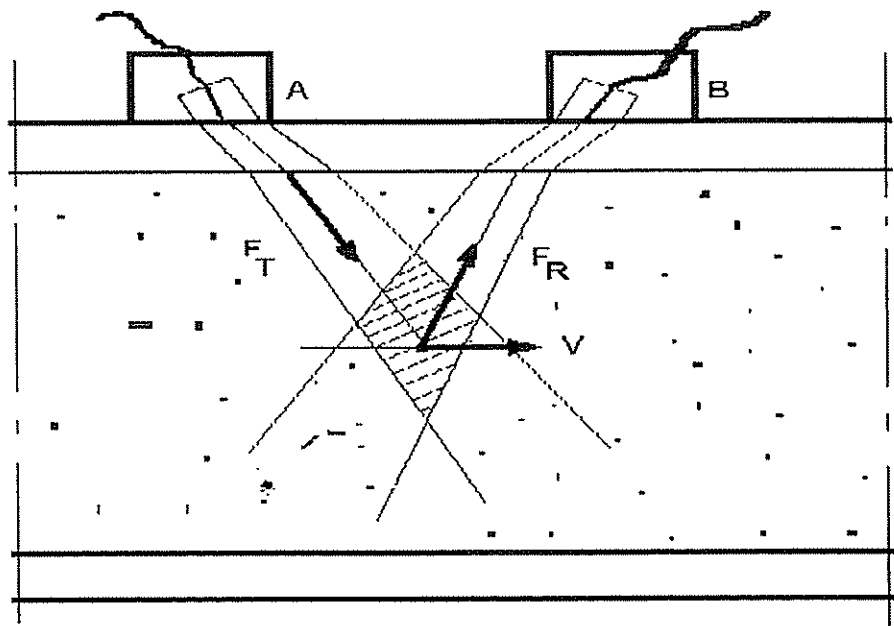
- On ne peut pas utiliser les ultrasons pour effectuer des mesures de débit de gaz, les mélanges fortement diphasiques et les liquides très chargés sont aussi exclus.
 - Les conditions d'écoulement favorable doivent être respectées (longueur droite de 10 diamètres en amont et de 5 en aval de la zone de mesure).
 - Pour la calibration de l'appareil se reporter à sa notice de fonctionnement et aux caractéristiques des ondes.
- Attention cette méthode de mesure n'est pas normalisée.

5.2.2. Débitmètre à effet Doppler

- Ces débitmètres ne peuvent être considérés comme des appareils de mesures précis, mais plutôt comme des indicateurs de débit.

- Principe :

Un onde ultrasonore de fréquence F_T émise par un transducteur A se propage à travers la paroi de la tuyauterie et le fluide. Une partie de l'énergie de ce faisceau incident est rétro diffusée par les particules en suspensions. Si le fluide est en mouvement, le déplacement des particules provoque un changement de fréquence (effet Doppler) des ondes réfléchies qui sont détectées par le transducteur B.





ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 31 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

La différence de fréquence entre les ondes émises et reçues est l'image d'une vitesse du fluide.

$$f = F_T - F_R = \frac{2 F_T V \cos \alpha}{C}$$

F_T : fréquence d'émission

F_R : fréquence de réception

α : angle entre le vecteur vitesse et l'axe du faisceau acoustique.

C : célérité de l'onde ultrasonore

V : vitesse de déplacement du réflecteur

6 AUTRES METHODES DE MESURE DE DEBIT

6.1. Par la mesure de la vitesse de l'air

Ces méthodes sont décrites dans le guide-type n° 14 pour des raisons pratiques.

6.2. Par rotamètre

Le rotamètre est constitué d'un tube conique et d'un flotteur.

Lorsqu'il y a débit, le flotteur dans le liquide est en équilibre sous l'action de son poids (P), de la poussée d'Archimède et de la force exercée par la pression dynamique (p_d) sur la section du flotteur.

La pression dynamique ($1/2 \cdot \rho \cdot V^2$) est constante au niveau du flotteur lorsque celui-ci est en équilibre ($p_d = P$ à la poussée d'Archimède près). La vitesse du fluide au niveau du flotteur quelle que soit sa position est constante ($V = Q/S$)

On a $S = f(h)$ (h position d'équilibre du flotteur) donc en mesurant h on détermine le débit traversant le rotamètre.

- Les mesures de débit de gaz et de liquide peuvent être effectuées avec les rota mètres.

- L'appareil est généralement gradué directement en unité de débit ; dans le cas contraire, des abaques sont utilisés pour déterminer le débit du fluide en fonction de sa nature, de la position du flotteur, de sa nature et de ses caractéristiques géométriques.

6.3. Par compteur

Le principe des compteurs est de déterminer le volume d'un fluide, soit en mesurant sa vitesse, soit en effectuant la somme de volumes élémentaires (compteur volumétrique).

Ils mesurent et totalisent le volume de fluide les traversant. Il suffit de relever à t_0 l'index de l'appareil (V_0) puis de le refaire à t_1 (V_1).

$$t = t_1 - t_0 \quad \text{volume mesuré } \Delta V = V_1 - V_0$$

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$



ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 32 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

ANNEXE I

REFERENCES

Normes AFNOR :

NFX 10-100 mai 80 : Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées : vocabulaire et symboles.

NFX 10-102 juin 80 : Mesure de débit des fluides au moyen de diaphragmes, tuyères et tubes de venturi insérés dans des conduites en charge de section circulaire.

NFX 10-104 décembre 70 : Mesure de débit des fluides au moyen de diaphragmes, tuyères et tubes de venturi : guide d'emploi pratique.

NFX 10-131 décembre 74 : Mesure de débit de l'eau dans les conduites fermées, méthodes par traceurs. Partie II : méthode d'injection à débit constant utilisant des traceurs non radioactifs.

NFX 10-132 décembre 75 : Mesure de débit de l'eau dans les conduites fermées, méthodes par traceurs. Partie II : méthode d'injection à débit constant utilisant des traceurs non radioactifs.

NFX 10-133 mai 77 : Mesure de débit de l'eau dans les conduites fermées, méthodes par traceurs. Partie III : méthode d'injection à débit constant utilisant des traceurs radioactifs.

NFX 10-136 septembre 77 : Mesure de débit d'eau dans les conduites fermées, méthodes du temps de transit utilisant des traceurs non radioactifs.

NFX 10-137 septembre 77 : Mesure de débit d'eau dans les conduites fermées, méthodes par traceurs. Partie VII : méthode du temps de transit utilisant des traceurs radioactifs.

NFX 10-139 novembre 83 : Mesure de débit des liquides dans les conduites fermées par jaugeage d'un réservoir volumétrique.

Autres références :

Le carnet du régleur : Mesure. Régulation (Edition 1984).

CRT 46.C.008.00 du 22/7/88 : Accessoires et raccordement de tuyauteries. Contrôle du débit dans les tuyauteries à l'aide de diaphragmes.



ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 33 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

HP 119-86-002 du 13/5/86 : Les débitmètres à ultrasons.
(DER-EP/REME).

ANNEXE II SYMBOLES UTILISES

Qv	débit volumique	m ³ /s, m ³ /h
Qm	débit massique	kg/s, t/h
S	section de la veine de fluide	m ²
V	vitesse du fluide dans la tuyauterie	m/s
t	temps	s
ρ	masse volumique	kg/m ³
R _e	nombre de Reynolds	sans unité
D	diamètre intérieur de tuyauterie	m
d	diamètre de l'orifice	m
ν	viscosité cinétique du fluide	m ² /s
η.μ	viscosité dynamique	Pa.s
β	rapport d sur D	sans unité
E	coefficient de vitesse d'approche	sans unité
α	coefficient de débit	"
C	coefficient de décharge	"
ε	coefficient de détente	"
c	concentration d'un traceur	kg/m ³
h	hauteur	m
p	pression	Pa
T	température	°K, °C
l	longueur	m
C	célérité du son	m/s
d	distance	m
K, KH	coefficient de correction	sans unité
k	constante	sans unité
F	fréquence	Hz
v	Volume	m ³



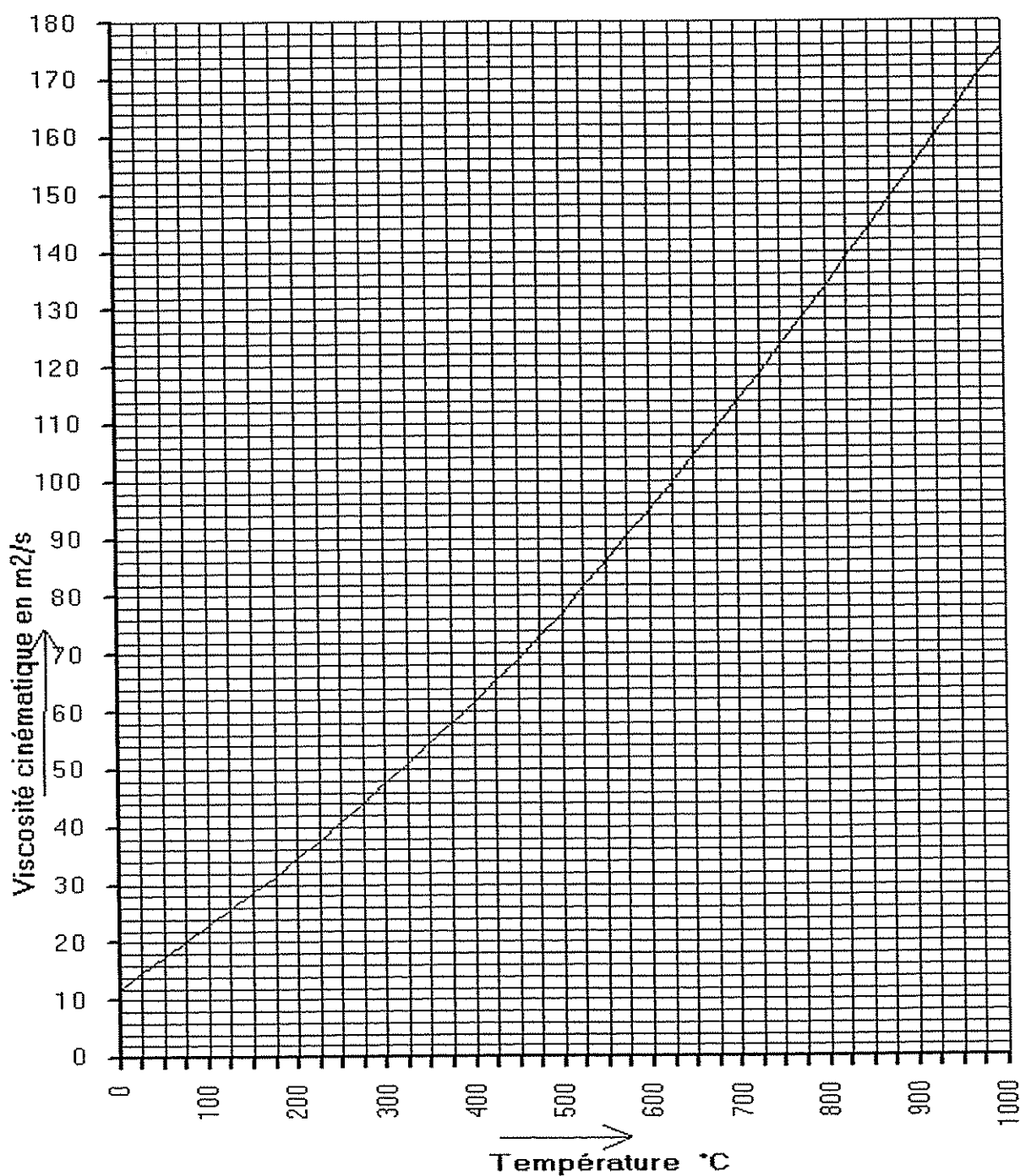
ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 34 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

ANNEXE III
VISCOSITE CINEMATIQUE DE L'EAU SOUS PRESSION
EN METRE CARRE PAR SECONDE (M²/s x 10⁻⁶)
(d'après les Tables VDI, 6^e Edition, 1963)

TEMPERATURE (°C)	PRESSION EN BARS							
	1	20	50	100	200	300	400	500
0	1,79	1,78	1,77	1,76	1,73	1,70	1,67	1,64
10	1,31	1,30	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,24
20	1,01	1,00	1,00	0,999	0,994	0,988	0,982	0,975
30	0,804	0,804	0,803	0,801	0,796	0,792	0,788	0,785
40	0,658	0,658	0,657	0,655	0,652	0,650	0,647	0,645
50	0,557	0,556	0,555	0,553	0,557	0,552	0,550	0,548
60	0,478	0,478	0,478	0,478	0,477	0,476	0,476	0,475
70	0,416	0,416	0,415	0,415	0,415	0,415	0,414	0,415
80	0,365	0,365	0,366	0,366	0,366	0,367	0,366	0,367
90	0,326	0,326	0,327	0,327	0,327	0,328	0,329	0,329
100		0,295	0,296	0,296	0,297	0,297	0,298	0,299
110		0,273	0,273	0,273	0,274	0,276	0,277	0,277
120		0,252	0,253	0,253	0,254	0,255	0,262	0,258
130		0,233	0,234	0,234	0,235	0,237	0,238	0,240
140		0,218	0,218	0,218	0,220	0,221	0,223	0,224
150		0,204	0,205	0,205	0,206	0,207	0,209	0,210
160		0,192	0,192	0,193	0,195	0,196	0,197	0,199
170		0,182	0,182	0,183	0,185	0,186	0,187	0,189
180		0,172	0,173	0,174	0,175	0,177	0,178	0,179
190		0,164	0,164	0,165	0,167	0,168	0,170	0,171
200		0,157	0,158	0,159	0,161	0,162	0,163	0,165
210		0,153	0,153	0,154	0,155	0,157	0,158	0,158
220			0,148	0,149	0,150	0,152	0,152	0,154
230			0,144	0,145	0,146	0,147	0,148	0,149
240			0,140	0,140	0,141	0,143	0,144	0,145
250			0,136	0,137	0,137	0,139	0,140	0,141
300				0,125	0,124	0,125	0,126	0,127
350					0,122	0,121	0,121	0,122

ANNEXE IV

Viscosité cinématique de l'air à la pression de 1 bar absolu



Note : Pour une pression p, diviser le chiffre lu par p.



ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 36 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

ANNEXE V

CALCUL DE LA MASSE VOLUMIQUE DE L'AIR

Le débit est généralement exprimé en volume. Pour convertir le débit volumique en débit massique, il faut multiplier le débit volumique par la masse volumique du gaz considéré, aux conditions de température et de pression.

$$P \cdot V = P_0 \cdot V_0 \cdot (1 + \alpha t) \text{ Formule générale}$$

Pour l'air, on a :

$$\begin{aligned} - \text{à } 0^\circ \text{ C : } \rho_{\text{air}} &= 1,293 \text{ kg/m}^3 \\ P_0 &= 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa (soit 760 mm Hg)} \\ V_0 &= m/\rho_0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{à } t^\circ \text{ C : } V &= m/\rho \\ \alpha &= 1/273 \end{aligned}$$

$$\text{Donc : } P \cdot \frac{m}{\rho} = P_0 \cdot \frac{m}{\rho_0} \cdot \left(1 + \frac{1}{273} \cdot t\right)$$

$$\frac{P}{\rho} = \frac{P_0 \cdot (273 + t)}{\rho_0 \cdot 273}$$

$$\rho \cdot P_0 \cdot (273 + t) = P \cdot \rho_0 \cdot 273$$

$$\rho = \frac{P \cdot \rho_0 \cdot 273}{P_0 \cdot (273 + t)} = \frac{P \cdot 1,293 \cdot 273}{1,013 \cdot 10^5 \cdot (273 + t)}$$

D'où	$\rho_{\text{air}} (\text{kg/m}^3) = \frac{3,48 \cdot 10^{-3} \cdot P}{273 + t}$
------	--

t° = température en degrés CELSIUS du gaz

P = pression absolue (en Pascal)

= pression statique mesurée à $t^\circ \text{ C}$ + pression atmosphérique

$P = p_s + 1,013 \cdot 10^5$
Pa

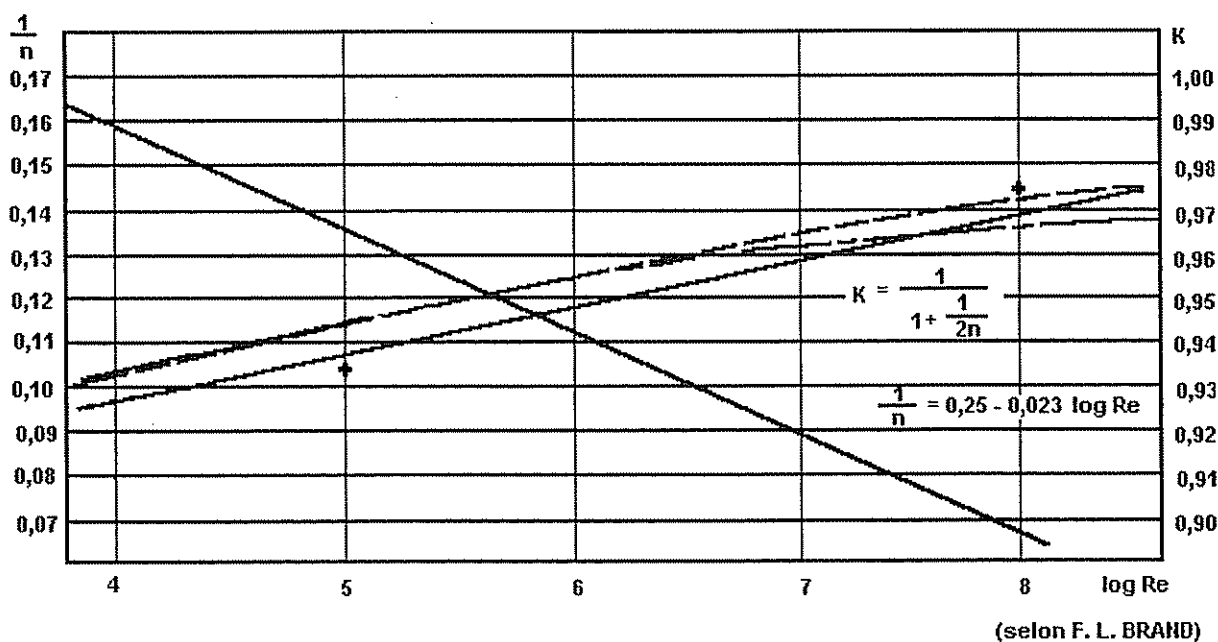
ANNEXE VI

EVALUATION DU COEFFICIENT DE CORRECTION

$$V_{\text{moy. sect.}} = 2 V_m \frac{n^2}{(1+n)(1+2n)}$$

$$V_{u.s.} = V_m \frac{n}{1+n}$$

$$K = \frac{2n}{2n+1}$$





ISO 5MRL PPPP NO S 0822	Ind. A	Page 38 / 37
MRL - VOLUME n°5 Chapitre 3 GUIDE TYPE N°22 MESURE DE DEBIT		

ANNEXE VII

Propagation du son dans quelques milieux

(à titre indicatif)

	Vitesse du son (VL)	Vitesse du son (VT)
Acier	5 900 m/s	30230 m/s
Eau à 15° C	1 472 m/s	
Eau distillée	1 482 m/s	
Eau de mer (salinité 3,5 %)	1 507 m/s	
Plexiglass	2 730 m/s	
Résine époxy	2,4 à 2,9 km/s	1 100 m/s
Fonte	35 à 58 km/s	2 200 à 3 200 m/s

VL : Vitesse longitudinale
Vitesse transversale

VT :