République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAIA ADRAR
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE MATIERE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME

DE MASTER EN PHYSIQUE ENERGETIQUE ET ENERGIE RENOUVELABLE

Thème

Modélisation et Simulation des débitmètres dans l'industrie du gaz

Soutenu le : **00 / 00 / 2017**

Présenté par : OULHADJ Sekina;

BAKADIR Latifa.

Encadré par : Dr. HARROUZ Abdelkader

Co-encadreur : Mr .OULHADJ Mohamed

Président : Pr.BENTILLAH Ali

Examinateure: Melle.BEKRAOUI Amina

2016-2017

بسم الله الرحمن الرحيم

Remerciement

Avant tout, nous remercions DIEU tout puissant de nous avoir donné le privilège et la chance d'étudier et suivre le chemin de la science.

*Un grand merci à « **Mr HARROUZ Abdelkader**» pour son encadrement et « **MrOULHADJ MOHAMED**» pour son assistance durant la réalisation de notre projet de fin d'étude.*

Nous remercions également les membres du jury :

« professeur Ben Atllah Ali » et «Melle Bekraoui Amina ».

Pour l'honneur qu'il nous a fait d'évaluer ce travail.

Ainsi nous tenons à remercier Tous les enseignants de département de science de matériaux.

Dédicaces

Je dédie cet humble travail à :

Mes chers parents, que nulle dédicace ne peut exprimer mes

Sincères sentiments, pour leur patience

Illimitée, leur encouragement contenu, leur aide, en

Témoignage de mon profond amour et respect

Pour ses grands sacrifices.

Mes chers frères : Mohamed , Ibrahim,et mes sœurs, pour leur grand

soutien qu'ils trouve ici

L'expression de ma haute gratitude.

*Mes chers amies :**Fatima**...Latifa, Noura , Omlkheir, et tous la promotion de Physique Energétique qui sans leur encouragement ce travail n'aura jamais vu le jour.*

Et à toute ma famille et à tous ceux que j'aime.

Sekina Oulhadj

ДИЗАЙН И ГРАФИКА
WWW.OLIK.RU

DEDICACE

Merci Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire

Et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller

Jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers

Le ciel et de dire :"ya Rahman"

Je dédie ce modeste travail à :

Ma mère qui été pour mon corps Mieux qu'un cœur elle

A mes frères et soeurs

A toute ma famille

A ma collègues de travail: sekina

Et à tous mes amis tous par nom

Latifa BAKADIR

SOMMAIRE

Liste des figures……I
liste des tableaux……...II
Nomenclatures……..III
Introduction **générale**…….....VI

Chapitre I : généralités sur les débitmètris

I. Introduction …… 04
I.1. Débit…… 04
I.1.1. Définition du débit……..... 04
I.1.2. Propriétés générale du débit…….. 05
I.1.2.1. La viscosité…… 05
I.1.2.2. Le nombre de Reynolds……... 05
I.1.2.3. Ecoulements laminaire et turbulent…… 06
I.1.2.3.1.Ecoulement laminaire……... 06
I.1.2.3.2.Ecoulement turbulent……... 06
I.2. Mesurage du débit…… 06
I.3. Qu'est-ce qu'un débitmètre?..... 07
I.3.1. Les paramètres pour choisir un débitmètre……... 07
I.4. Les différents types des débitmètres…… 08
I.4.1. Débitmètre à orifice……... 08
I.4.2 .Débitmètre à ultrasons……... 08
I.4.3. Débitmètre à effet CORIOLIS …… 09
I.4.4 Débitmètre à turbine……... 12
I.4.5 Débitmètre à effet Vortex..... 12
I.4.6. Débitmètre massique thermique……..... 14
I.4.7. Débitmètre électromagnétique …… 15
I.5 Choix d'un débitmètre……... 16
I.6 Conclusion…… 17

Chapitre II : modélisation des débitmètres dans l'industrie de gaz

II. Introduction…… 19
II.1. Les débitmètres du gaz les plus utilisés dans l'industrie du gaz Algérien……. 19

II.1.1. Débitmètre du gaz à orifice DANIEL…….. 19
II.1.1.1. Tables des données opérationnelles du débitmètre DANIEL……. 20
II.1.1.2. Principe de fonctionnement ……. 22
II.1.1.3 .Dimensionnement …… 22
II.1.2. Débitmètre du gaz à turbine FLUXI 2000 / TZ……... 23
II.1.2.1. Spécifications techniques…….. 24
II.1.2.2 Applications ……. 24
II.1.2.3 Totalisateur …….. 24
II.1.2.4. Principe du fonctionnement ……. 25
II.1.3. Débitmètre du gaz à ultrasons ……. 29
II.1.3.1. Description de l'instrument ……. 29
II.1.3.1.1. Principe de mesure du temps de transition ……... 29
II.1.3.1.2. Principales notions des ondes ultrasonores ……... 30
II.1.3.1.3. Célérité d'une onde dans un fluide …….. 32
II.1.3.2 Mesure du débit en conduite pleine ……. 32
II.1.3.2.1. Coefficient hydraulique (K_H)……. 32
II.1.3.2.2. Calcul de K_H dans le cas d'un écoulement laminaire ……... 33
II.1.3.2.3. Calcul de Kh dans le cas d'un écoulement turbulent ……... 34
II.1.3.3. Mesure du débit par plans parallèles …….. 36
II.1.3.2.4. Calcul du débit volumique en mesure monocorde ……... 36
II .1.3.3.1.Principe général ……... 37
II.2. Expression du débit …… 37
II.2.1. Installation de compteur de gaz à ultrasons …… 38
II.3. Conclusion…….. 39

Chapitre III : simulation et interprétation des résultats

III. Introduction ……. 41
III.1. La Simulation du débit pour les débitmètres les plus utilisés dans l'industrie de gaz par MATLAB/Simulink …….. 41
III.1.1. Débitmètre à orifice…… 41
III.1.1.1.Simulation du Débit volumique en fonction de pressiondifférentielle …… 41
III.1.1.2. Simulation du Débit volumique en fonction des Diamètres d & D(Beta)……... 43
III.1.2. Débitmètre à turbine ……..... 44
III.1.2.1. Débitmètre à turbine réel …… 45

III.1.2.2. Vitesse moyenne du gaz dans une conduite ……... 46
III.1.2.3.simulation du module de débitmètre à turbine……... 47
III.1.3. Simulation de débitmètre à ultrasons……...……... 48
III.1.3.1. Calcul du débit volumique en mesure monocorde……...…….. 48
II.1.3.2.la simulation du temps TAB de transition entre les deux transducteurs A et B…. 49
III.1.3.3.Simulation de temps du réflexion de la longueur du son de transducteur B vers A. 49
III.2. Interprétation des résultats obtenus par la simulation……...……..... 51
III.2.1. Débitmètre à orifice …… 51
III.2.2. Débitmètre à turbine ……... 51
III.2.3. Débitmètre à Ultrason ……. 51
III.3. Conclusion 52
Conclusion Générale……..…… 54
L'Annexe…….56
Références……....58
Résumé…….60

Liste des figures

Chapitre I : généralités sur les débitmètres

Figure I-1 Débit de fluide dans une conduite …… 04

Figure I-2 Différents types d'écoulement…….. 06

Figure I-3 Débitmètre à orifice……..... 08

Figure I-4 Débitmètre à ultrasons……..... 09

Figure I-5 Débitmètre à effet CORIOLIS…… 10

Figure I-6 Principe du fonctionnement de débitmètre Coriolis……..... 11

Figure I-7 Débitmètre à turbine……..... 12

Figure I-8 Débitmètre à effet Vortex……..... 13

Figure I-9 Débitmètre massique thermique…… 14

Figure I-10 Débitmètre électromagnétique……..... 15

Chapitre II : modélisation des débitmètres dans l'industrie du gaz

FigureII-1 Vue réelle de débitmètre à orifice DANIEL……..... 19

Figure II-2 Installation de débitmètre de gaz à orifice DANIEL…… 20

Figure II-3 différentes parties de débitmètre DANIEL……... 21

Figure II-4 Profil de pression du débitmètre d'orifice (avec l'aimable autorisation de Daniel Industries) ……. 23

Figure II-5 Débitmètre « FLUXI 2000 / TZ » de la société Actaris…… 23

Figure II-6 installation de turbine flowmeter…….. 26

Figure II-7 Erreur typique de mesure…….. 26

Figure II-8 Compteur de gaz à ultrason ALTOSONIC V12…….. 29

Figure II-9 Propagation d'onde acoustique sonore…….. 31

Figure II-10 Emplacement de sondes…… 33

Figure II-11 Profil de vitesses d'un écoulement laminaire…… 34

Figure II-12 Périodicité d'un écoulement turbulent…….. 34

Figure II-13 Allongement et aplatissement du profil de vitesses d'un écoulement turbulent…… 35
Figure II-14 Tendance de K_H en fonction de Re selon le modèle de Prandtl…… 36
Figure II-15 Profil d'une conduite…… 37
Figure II-16 Exigencesgénérales d'installation…… 38

Chapitre III : simulation et interprétation de résultats

Figure III-1 Simulation de Qv en fonction de DP par Simulink…… 42
Figure III.2 résultat de simulation f(Qv)=DP…… 42
Figure III.3 Simulation de Qv en fonction de Beta…… 43
Figure III.4 Résultat de la simulation de f (Qv)=β…… 44
Figure III.5 Valeurs de vitesse en fonction de diamètre…… 46
Figure III.6 Qv en fonction de variation de Diamètre D…… 47
Figure III.7 Résultat de simulation f(Qv)= D…… 47
Figure III.8 Principe de fonctionnement de débitmètre à ultrason…… 48
Figure III.9 Simulation de temps de transition de la longueur du son de transducteur A versB…… 49
Figure III.10 Simulation de temps de réflexion de la longueur du son de transducteur B vers A…… 49
Figure III.11 Simulation de débit du gaz pour un débitmètre à ultrasons…… 50
Figure III.12 Résultat de Simulation de f(Qv)= D…… 50

Liste des tableaux

Chapitre I : généralités sur les débitmètres

Tableau I.1 : Critères du choix **16**

Chapitre II : modélisation des débitmètres dans l'industrie du gaz

Tableau II.1 : Données techniques de débitmètre gaz DANIEL……..…**21**

Tableau II.2 : les valeurs de pression de services……..…...**27**

Nomenclateur

Symbole	Grandeur	Unité SI
Q_m	le débit massique	kg/s
Q_v	débit volumique	m3/s
ρ	la masse volumique du fluide	$kg\ /\ m^3$
v	Vitesse du liquide du liquide	m/s
D	Diamètre interne du conduit	M
μ	viscosité du liquide	Pa.s
t	Temps de d'écoulement	s
Re	Nombre de reylond	-
C	vitesse de propagation du son dans le fluide	m/s
S	Surface	m^2
K_H	Coefficient hydraulique	-
L	distance entre émetteur et récepteur	m
PT	transmetteur de pression	C^0
DPT	transmetteur de pression différentielle	pa
Δp	Différence de pression	Bar
T_T	transmetteur de température	-
Ap	perte de pression dans les conditions calculées	%
Δpr	Perte de charge dans les conditions de référence	%

r_n	densité de gaz	kg/m3
P_b	pression de service	Bar
Q	débit	m^3/ h
Q_{max}	débit maximal	m^3/ h
T_b	température du gaz	C^0
R	constante des gaz parfait	-
L_i	Longueur du parcours acoustique de la corde	m
D_i	Projection de cette longueur sur l'axe de la conduite.	m
$\emptyset_{int}$	diamètre intérieur de la conduite	m
R	Diamètre de la conduite	m
c_v	Capacité thermique volumique	j.m^3 K^{-1}.
C_p	Capacité thermique massique du gaz à pression constante	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
P	pression de service	Bar.s
Z	facteur de compressibilité du gaz.	-

Introduction générale

Introduction Générale

Le mesurage du débit du fluide appliqué à l'industrie pétrolière a considérablement progressé au cours des 30 dernières années. Les technologies de mesure du liquide en amont et en aval sont devenues plus complexes. Au fil du temps, il est devenu nécessaire de comprendre les principes fondamentaux qui composent cet environnement en constante évolution.

L'Algérie est l'un des plus important pays producteurs du pétrole et du gaz naturel, ces deux sources énergétiques stratégiques, occupent une place prépondérante dans le commerce extérieur.Dans les industries à risques élevés telle que le secteur pétrolier et gazier, l'enjeu de gestion des systèmes de comptage est l'une des principales préoccupations de la politique des pays producteurs d'énergie, ces systèmes doivent être bien conçus et mis en œuvre pour garantir la mesure des la produits hydrocarbures.

Les mécanismes du comptage des produits hydrocarbures Algérien devraient prochainement être révisés afin d'éviter des erreurs du comptage dans l'avenir et de préserver les ressources de l'Algérie de toute tentative du mauvais comptage. Les futurs progrès technologiques dans le domaine de l'étalonnage et du fonctionnement des compteurs peuvent justifier des exigences plus strictes pour les modes de calcul.[1]

Dans le cadre des nouvelles dispositions de la loi sur les hydrocarbures, les volumes produits et comptabilisés constitueront l'assiette selon laquelle, ils seront calculés les droits et les taxes ainsi que les avantages fiscaux y afférents et accordés aux partenaires de SONATRACH. L'Office National du Métrologie Légale Algérien, actuellement, en pleine concertation pour la préparation des procédures très précis qui devrait revoir les méthodes du comptage des produits hydrocarbures dans toutes les zones de production national.Beaucoup d'études économétriques[1] tendent encore à traiter les erreurs de mesure comme un bruit négligeable ou sans conséquences pratiques. Pourtant, certains travaux récents ont révélé que la qualité des données utilisées et l'existence d'erreurs de mesure substantielles pouvaient avoir des conséquences critiques pour l'analyse économétrique. Les principaux études enseignements théoriques en la matière sont, d'une part, que la présence d'erreurs de mesure conduit en général à biaiser les résultats d'estimations économétriques et, d'autre part, que le biais est d'autant important que le « bruit d'erreur de mesure » est grand. En termes techniques

[1] Etudes des relations quantitatives de la vie économique faisant appel à l'analyse statistique et à la formulation mathématique.

et métrologiques, la variance de l'erreur de mesure représente une part importante de la variance « vraie » de la variable considérée. [1]

La grande variété des fluides à mesurer (gazeux, liquides, visqueux, hautes températures, multiphasiques, chargés en solides ...) oblige à utiliser des appareils qui peuvent être très différents aussi bien par leur principe de mesure que par leurs conditions d'utilisation.
Dans ce fascicule, il sera question d'étudier quelques débitmètres importants représentant en même temps la grande majorité de ceux utilisés dans l'industrie. Le principe du fonctionnement, la mise en œuvre industrielle et les conditions d'installation et d'utilisation seront explicités pour chaque débitmètre. Des tableaux récapitulant les avantages et les Inconvénients de chaque débitmètre faciliteront le choix de l'appareil le mieux adapté.
On limitera cette étude aux débitmètres pour gaz en canalisation fermée.

L'objectif de ce travail prend en compte la simulation et la modélisation du débit mesuré par des débitmètres à orifice, à turbine et à ultrason dans l'industrie du gaz basant sur :

Chapitre I : les généralités de débitmètre où a noté les propriétés générales du débit et les différents types des débitmètres et ses paramètres de choix;

Chapitre II : Modélisation des débitmètres, en notant certain modèles et leur principe de fonctionnement basant sur des formules importantes;

Chapitre III : Simulation du débit de trois types de débitmètre (à orifice, à turbine et à ultrason) par Matleb/simulink

Chapitre I

Généralités sur les débitmétries

I. Introduction :

Débitmètre est étalonné et vérifié par son constructeur sur banc d'essai. La mesure du débit en conduite fermée repose sur plusieurs débitmètres. Dans la plus part des principes, on essaye de détermine la masse volumique et massique du fluide, la vitesse de l'écoulement en utilisant un autre grenadeur liée avec elle. Ce chapitre est consacré à la présentation et la description du débit, les différents types des débitmètres et les caractéristiques de l'installation et métrologiques de chaque type.

I.1. Débit

En génie thermique, il est essentiel de pouvoir connaître la quantité du fluide qui circule à l'intérieur des différents éléments (gaines, pompes, tuyauterie…). Par conséquent, il est nécessaire de définir la notion de débit. Considérons, par exemple, une conduite dans laquelle circule un fluide. On appellera section de passage la surface à travers laquelle s'écoule le fluide.

I.1.1. Définition du débit

Le débit est la quantité de matière (exprimée par une masse ou un volume) qui passe à chaque unité de temps à travers cette section.

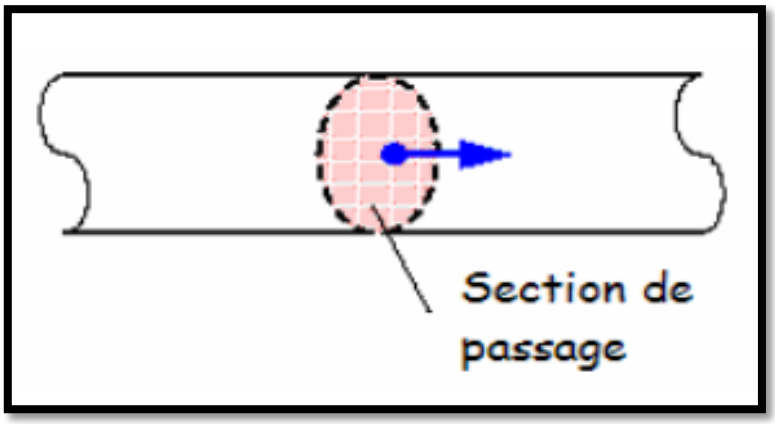

Figure I.1: Débit de fluide dans une conduite [2]

Si on veut savoir la quantité de matière d'un fluide, alors on parlera de débit massique (Q_m)qui s'exprime en kg/s ; Cependant si on veut savoir le volume de ce fluide, on parlera de débit volumique (Q_v)qui s'exprime en m^3/s.

Si ρest la masse volumique du fluide qui s'exprime en kg/m^3 , on a la relation liant le débit massique au débit volumique **[2]** :

$$Q_m = \rho . Q_v \quad (I.1)$$

I.1.2. Propriétés générale du débit

I.1.2.1.La viscosité

Pour savoir si la viscosité dynamique est assez forte pour freiner les tourbillons, il faut la comparer à l'inertie de l'écoulement. La viscosité tend à faire disparaître les tourbillons, alors que l'inertie les propage.

$$\nu = \mu/\rho \quad (I.2)$$

I.1.2.2. Le nombre de Reynolds

Pendant l'écoulement d'un fluide avec une vitesse moyenne v dans une conduite de diamètre **D**, cependant la masse volumique du fluide et l'énergie cinétique du fluide est en gros proportionnelle et par conséquent la viscosité est ce qui fait que **le fluide a tendance de coller à la paroi de cette conduite.**

Les forces de viscosité sont d'autant plus importantes que la viscosité du liquide est élevée, que sa vitesse v est importante, et que le diamètre du tube est petit. Au final, l'énergie dissipée par les forces de viscosité est proportionnelle à la quantité Pour calculer le ratio inertie/frottement dans le liquide, on fait le rapport des deux formules que nous venont de détailler, et on obtient cette quantité appelée le **nombre de Reynolds de l'écoulement. [3]**

$$R_e = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (I.3)$$

v : Vitesse du liquide (m/s);
ρ : Masse volumique (kg/m3);
D : Diamètre interne du conduit (m);
μ : viscosité du liquide (en Pa.s).

- Si Re< 2300 : l'écoulement est laminaire;
- Si Re> 2300 : l'écoulement est turbulent.

I.1.2.3. Ecoulements laminaire et turbulent

I.1.2.3.1.Ecoulement laminaire

Lorsque les forces de viscosité sont importantes par rapport aux forces d'inertie, l'écoulement est régulier, le champ des vitesses, ou plus généralement des paramètres du fluide, varie de façon monotone aussi bien dans l'espace que, éventuellement, dans le temps.

Les lignes de courant demeurent parallèles entre elles, les couches de fluide glissant les unes sur les autre sans se mélanger. Les pertes de charge sont alors proportionnelles à la vitesse.

I.1.2.3.2.Ecoulement turbulent

Dans ce cas les forces d'inertie deviennent importantes par rapport aux forces de viscosité. Les instabilités, inévitables en pratique, se développent sous forme de tourbillons de tailles variées

Les lignes de courant ne gardent plus leur individualité, mais s'enchevêtrent. Les pertes de charge sont proportionnelles au carré de la vitesse. **[3]**

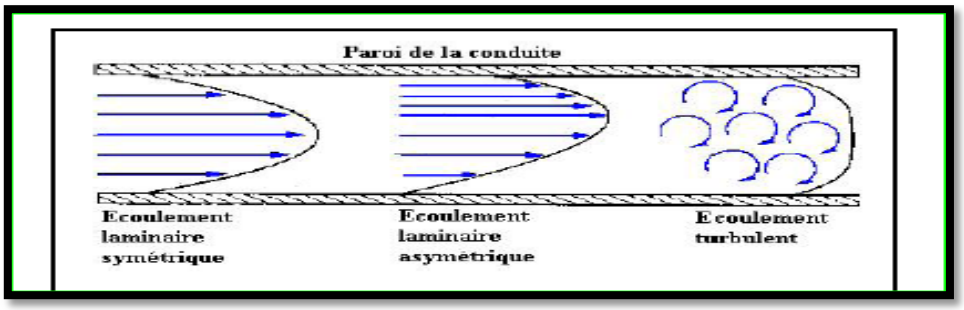

Figure I.2 : Différents types d'écoulement [3]

I.1.2.4.Mesurage du débit

Pour mesurer le débit d'un fluide, il est nécessaire d'avoir un débitmètre qui est considéré un instrument ayant le rôle de mesurer les différents types du débit que ce soit linéaire ou non linéaire.

Lors de la sélection d'un débitmètre, on doit considérer les facteurs intangibles tels que la familiarité du personnel de l'usine, leur expérience avec l'étalonnage et l'entretien, la

disponibilité des pièces de rechange, et le temps moyen de l'histoire d'échec…etc., dans l'usine en question. Il est également recommandé que le coût de l'installation soit calculé qu'après la prise de ces mesures. Une des erreurs les plus courantes lors de la sélection d'un débitmètre est le renversement de cette séquence : au lieu de sélectionner un capteur qui pourra exécuter correctement, une tentative est faite pour justifier l'utilisation d'un dispositif parce qu'il est moins cher. Ces achats "économiques" peuvent devenir les installations les plus coûteuses **[4].**

I.2. Qu'est-ce qu'un débitmètre?

Un débitmètre est un instrument utilisé pour mesurer le débit linéaire, non linéaire, de masse ou volumétrique d'un fluide.

Lors de la sélection d'un débitmètre, on doit considérer les facteurs intangibles tels que la familiarité du personnel de l'usine, leur expérience avec l'étalonnage et l'entretien, la disponibilité des pièces de rechange, et le temps moyen de l'histoire d'échec, etc., dans l'usine en question. Il est également recommandé que le coût de l'installation soit calculé qu'après la prise de ces mesures. Une des erreurs les plus courantes lors de la sélection d'un appareil de mesure de débit est le renversement de cette séquence: au lieu de sélectionner un capteur qui pourra exécuter correctement, une tentative est faite pour justifier l'utilisation d'un dispositif parce qu'il est moins cher. Ces achats "économiques" peuvent devenir les installations les plus coûteuses. **[4]**

I.2.1.Les paramètres pour choisir un débitmètre

La première étape dans la sélection du capteur de débit est de déterminer si l'information du débit doit être continu ou totalisée, et si cette information est nécessaire localement ou à distance. Au cas d'être à distance, la transmission devrait-elle être analogique, numérique ou partagée. Et, si elle sera partagée, quelle est la fréquence de mise à jour des données (minimale) requise. Lorsque ces questions soient répondues, une évaluation des propriétés et caractéristiques d'écoulement du fluide de processus, et de la tuyauterie qui pourra accueillir le débitmètre, devrait avoir lieu. Afin d'aborder cette tâche de manière systématique, des formulaires ont été développés, exigeant que les types de données suivants soient remplis pour chaque application. **[5]**

I.3.Les différents types de débitmètres :

I.3.1. Débitmètre à orifice :

La procédure de mesure du débit par orifice fait partie du champ d'application de la norme ISO 5167. Elle ne requiert aucun calibrage particulier, la précision de la mesure étant définie par la norme.Le contrôleur saisit les valeurs mesurées au niveau de l'orifice, calcule le débit ainsi que la densité du gaz et ses autres caractéristiques. Les mesures définies dans la norme ISO 5167 sont préprogrammées et disponibles dans une bibliothèque de programmation**. [6]**

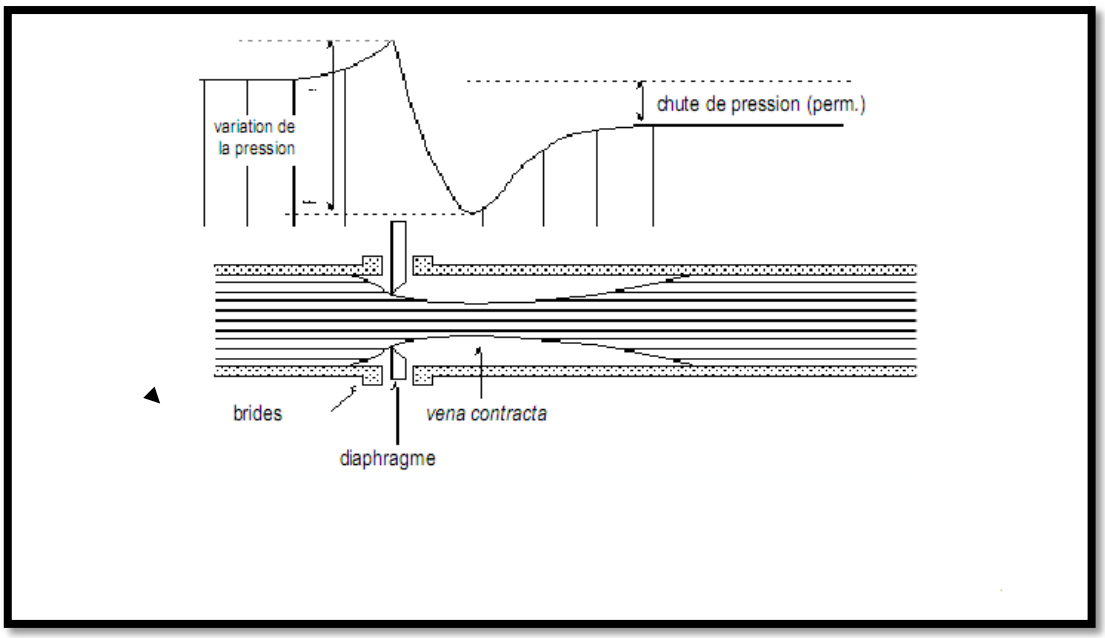

Figure I.3 : Débitmètre à orifice [4]

I.3.2. Débitmètre à ultrasons

Un émetteur et un récepteur sont montés en opposition de manière à ce que les ondes acoustiques allant de l'un à l'autre soient à 45 ° par rapport au sens d'écoulement dans la conduite. La vitesse du son allant de l'émetteur au récepteur constitue la vitesse intrinsèque du son, plus un apport dû à la vitesse du fluide. La mesure du temps t mis par le signal pour parcourir la distance L permet de connaître la vitesse du fluide et d'en déduire le débit **[7].**

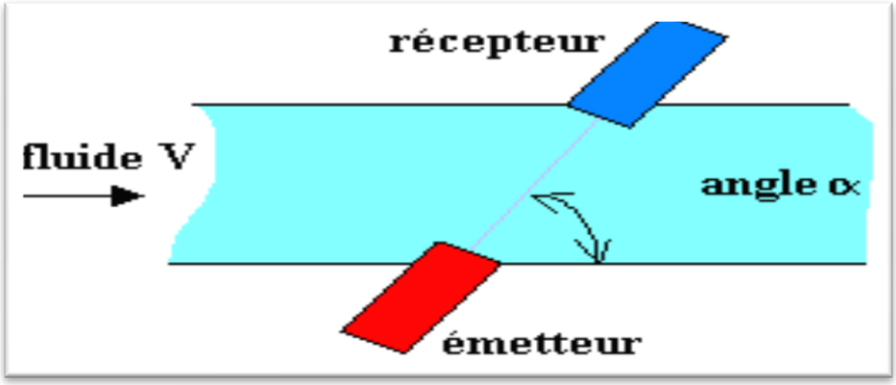

Figure I.4 : Débitmètre à ultrasons [8]

Le temps d'écoulement :

$$T_{AB} = \frac{L}{C+V\cos\varphi} \qquad (I.4)$$

$$T_{BA} = \frac{L}{C-V.\cos\varphi} \qquad (I.5)$$

C : vitesse de propagation du son dans le fluide;

V : vitesse du fluide;

L : distance entre émetteur et récepteur.

L'ensemble du dispositif, à l'extérieur de la conduite, est insensible à l'agressivité du fluide et n'entraîne aucune perte de charge.

- **domaine d'utilisation** : fréquemment utilisé pour les écoulements turbulents, pour les fluides non conducteurs (notamment hydrocarbures), là ou les débitmètres électromagnétiques ne conviennent pas ;
- **diamètre de canalisations** : généralement important (6000 mm) ;
- **précision** : peut atteindre 0,5 %;
- **temps de réponse très rapide**, jusqu'à 1 ms.

I.3.3.Débitmètre à effet CORIOLIS :

La force de CORIOLIS (Mathématicien français) explique notamment pourquoi les cyclones tournent dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère sud et dans le sens inverse dans l'hémisphère Nord. Il est question, dans un système en rotation, de la force

qui agit perpendiculairement sur la masse en mouvement dans le système, selon la vectrice vitesse relative et sur l'axe de rotation du système. Pour une masse m se déplaçant à une vitesse v, dans un système en rotation ayant lui-même une vitesse angulaire à la force de CORIOLIS vaut :

$$F = 2.\ m.\ a.\ v. \qquad (I.6)$$

Le débitmètre à CORIOLIS utilise comme détecteur un tube en U sans obstacle.

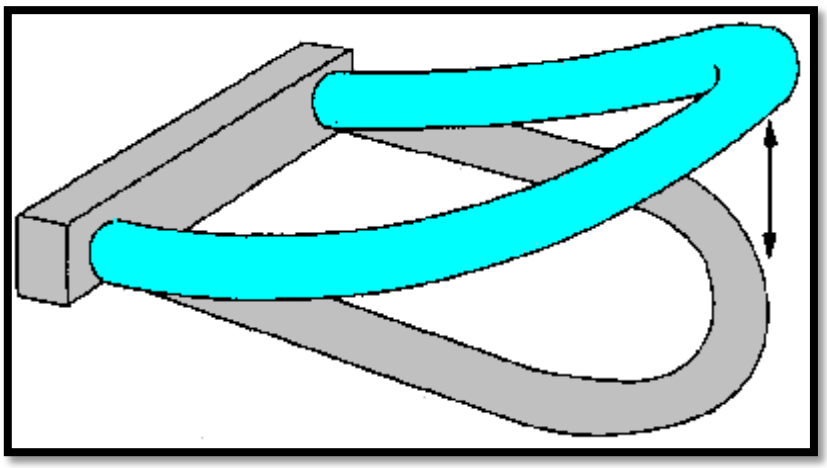

Figure I.5: Débitmètre à effet CORIOLIS [3]

Le tube de mesure vibre à sa fréquence naturelle à l'intérieur du boîtier du capteur. Le tube de mesure est actionné par un bobinage électromagnétique situé au centre de la courbure du tube et vibre comme un diapason. Le fluide s'écoule dans le tube de mesure et contraint de suivre le mouvement vertical du tube vibrant. Lorsque le tube monte pendant une moitié de sa période vibratoire, le fluide traversant le détecteur résiste à son entraînement vers le haut en repoussant le tube vers le bas. **[9]**

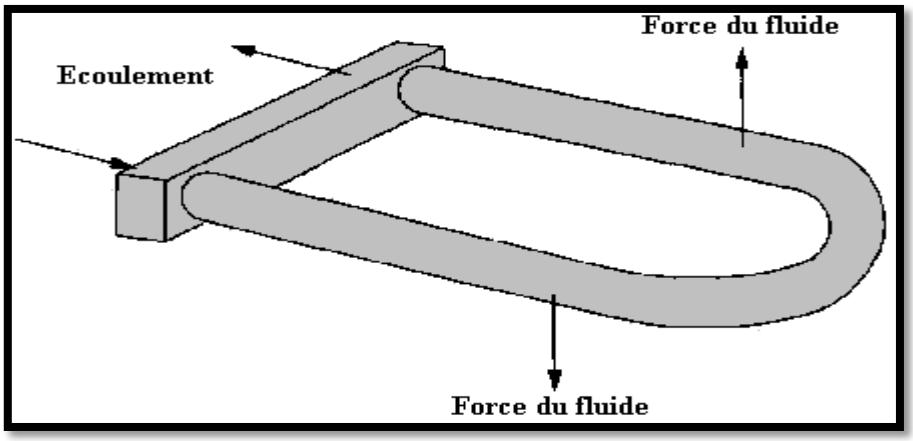

Figure I.6 : Principe de fonctionnement de débitmètre Coriolis [3]

A la sortie du détecteur, le fluide a un mouvement ascendant, induit par le mouvement du tube. Lorsqu'il franchit le coude du tube, le fluide résiste aux modifications de son mouvement vertical en repoussant le tube vers le haut. La différence de forces entraîne une torsion du tube de mesure. Lorsque le tube descend pendant la seconde moitié de sa période vibratoire, il se tord dans le sens opposé. C'est cette caractéristique de torsion qui est appelé effet CORIOLIS. Du fait de la seconde loi de mouvement de NEWTON, l'amplitude de la torsion du tube de mesure est directement proportionnelle au débit massique du fluide traversant le tube. Les détecteurs électromagnétiques situés de part et d'autre du tube de mesure enregistrent la vitesse du tube vibrant. Le débit massique se détermine en mesurant la différence de temps entre les signaux de détecteurs de vitesse. En effet la torsion du tube de mesure, pendant l'écoulement du fluide, entraîne une différence de temps entre les deux signaux de vitesse. C'est cette différence de temps qui est directement proportionnelle au débit massique traversant le tube et demeure indépendante des propriétés de ce fluide. **[10]**

- **domaine d'utilisation** : liquide propre et visqueux (pâtes, boues). Ce dispositif exige l'absence de toute bulle de vapeur formée momentanément dans le liquide et susceptible de perturber la mesure ;
- **diamètre de canalisation** : < 13 mm ;
- **précision** : 1 % ;
- **dynamique** : 1-50.

I.3.4. Débitmètre à turbine

L'écoulement du fluide entraîne la rotation d'une turbine (rotor à plusieurs ailettes, reposant sur des paliers) placée dans la chambre de mesure, la vitesse de rotation du rotor est proportionnelle à celle du fluide, donc au débit volumique total. La vitesse de rotation est mesurée en comptant la fréquence de passage des ailettes détectée à l'aide d'un bobinage (un aimant permanent est parfois solidaire de l'hélice). Chaque impulsion représente un volume de liquide distinct. **[11]**

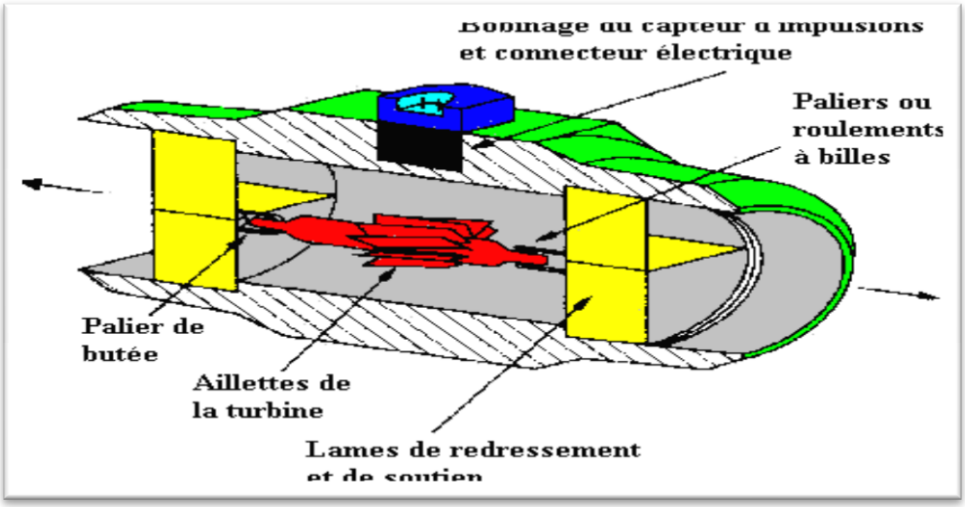

Figure I.7 : Débitmètre à turbine [3]

- **domaine d'utilisation** : compatible avec de nombreux liquides (rotor en acier inoxydable). Toutefois la propreté du liquide est essentielle, afin de ne pas encombrer les paliers de butée du rotor qui peut tourner à haute vitesse. De par leur principe ils sont réservés aux fluides peu visqueux, exempt de bulles ou de matières granuleuses. Ils sont destinés aux applications industrielles générales (eau, alcools, carburants, acides, gaz liquéfiés, liquides cryogéniques...) ;
- **diamètre de canalisations** : 10 mm à 30 cm environ ;
- **précision** : 0,2 à 2 % de l'étendue de mesure, selon les appareils ;
- temps de réponse : plusieurs millisecondes .

I.3.5. Débitmètre à effet Vortex

Le principe est basé sur le phénomène de génération de tourbillons, appelé effet Karman. Lorsque le fluide rencontre un corps non profilé, il se divise et engendre des

tourbillons, de part et d'autre et en aval du corps non profilé. Le nombre de tourbillons formés en aval par unité de temps est proportionnel au débit moyen. Une vitesse précise d'écoulement du fluide est déterminée par le comptage des tourbillons. Cette vitesse est mesurée à l'aide d'un capteur sensible aux variations oscillatoires de pression. **[9]**

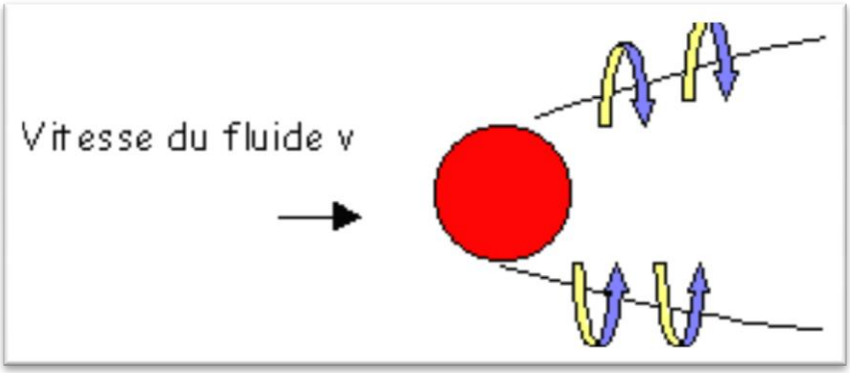

Figure I.8 : Débitmètre à effet Vortex [9]

$$V=\frac{f}{K} \qquad (I.7)$$

Avec:

V: Vitesse du fluide;

F: fréquence des tourbillons;

K:facteur.

Le facteur **K** dépend du nombre de REYNOLDS, mais est pratiquement constant sur une vaste plage de débit.

- **domaine d'utilisation** : Il est destiné au liquide propre, gaz ou vapeur et non recommandé pour la mesure de faibles débits. Il entraîne une perte de charge, supporte des vitesses de fluide importantes ;
- **diamètre de canalisations** : 12 à 500 mm ;
- **précision** : 1 % ;
- **bonne dynamique** : 1-20. [9]

Par mesure de pression différentielle à l'aide d'organes déprimogène Ces débitmètres de type manométrique sont les plus utilisés pour la mesure des débits de fluide. Ils exploitent la loi de BERNOUILLI qui indique la relation existant entre le débit et la perte de charge résultant d'un changement de section de la conduite. Ces

dispositifs sont utilisables que lorsque l'écoulement est turbulent. En partant de la relation

$$Q_v = S \cdot V \text{(I.8)}$$

Et en supposant une masse volumique constante (fluide incompressible), on peut écrire l'équation de continuité :

$$Q_v = S_1 \cdot V_1 = S_2 \cdot V_2 \text{(I.9)}$$

Celle-ci montre qu'avec un écoulement régulier et uniforme, une réduction de diamètre de la canalisation entraîne une augmentation de la vitesse du fluide, donc de l'énergie potentielle ou de la pression de la canalisation. La pression différentielle est convertie en débit volumique, à l'aide de coefficients de conversion, selon le type de débitmètre manométrique utilisé et le diamètre de la conduite.

I.3.6.Débitmètre massique thermique

Le principe est basé sur la mesure des transferts caloriques par le fluide lui-même. Ces dispositifs sont constitués d'un tube métallique à paroi mince, des résistances chauffantes sont bobinées à l'extérieur du tube, la circulation du fluide provoque un déséquilibre thermique entre l'amont et l'aval du tube, le déséquilibre est proportionnel au débit massique**. [9]**

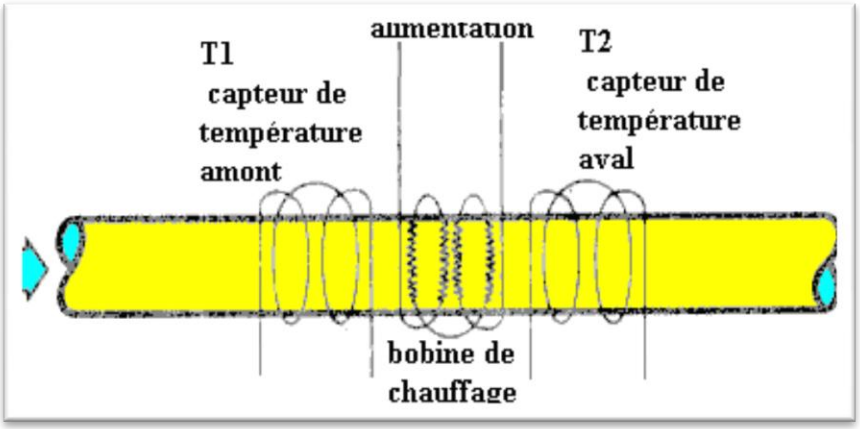

Figure I.9 : Débitmètre massique thermique [3]

- **domaine d'utilisati**on : liquide propre, gaz, vapeur ;
- **diamètre de canalisation** : tous diamètres ;
- **précision** : de l'ordre de 1 % ;
- **dynamique** : 1-10.

I.3.7. Débitmètre électromagnétique :

Il utilise la loi de Faraday : Quand un conducteur rectiligne se déplace dans un champ magnétique, une force électromotrice est induite dans ce conducteur.

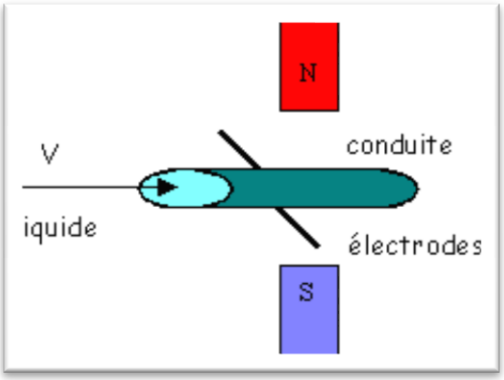

Figure I.10 : Débitmètre électromagnétique [10]

Un champ magnétique est créé par deux enroulements inducteurs placés de part et d'autre d'un même diamètre de la canalisation. Le conducteur est le fluide lui-même, il circule dans une canalisation isolée électriquement à l'intérieur. La force électromotrice est mesurée par deux électrodes au contact avec les fluides et placées aux deux extrémités d'un diamètre perpendiculaire aux lignes d'induction. La force électromotrice mesurée est proportionnelle à la vitesse moyenne du liquide, donc au débit volumique du liquide. Le signal de sortie à une amplitude de quelques millivolts et indique également le sens de l'écoulement**. [9]**

- **domaine d'utilisation** : liquide visqueux, pâteux, chargés d'impuretés, abrasifs ou très corrosifs à condition qu'ils soient conducteurs de l'électricité (ce qui n'est pas le cas des hydrocarbures) ;
- **diamètre de canalisations** : 3 mm à 3 m ;
- **bonne précision** de l'ordre de 1 % (limitée pour les faibles vitesses d'écoulement) ;
- mesure ne dépendant pas des caractéristiques physique du liquide (viscosité, densité, granulométrie) et possible à haute température (450 °C) et haute pression (1000 bars).

I.4. Choix d'un débitmètre

Une première sélection peut avoir lieu en se basant sur les critères fondamentaux, c'est à dire :

- nature du fluide transporté ;
- type de signal de mesure ;
- plage de mesure ;
- diamètre de la canalisation .

Les critères de choix sont très nombreux, le tableau ci-dessous donne une liste des principaux éléments à considérer. **[11].**

Tableau I.1 : Critères de choix [11].

Caractéristiques du fluide	- Nature du fluide (gaz, liquide chargé, conducteur...) - Viscosité - Régime d'écoulement - Température - Pression - Agressivité - Compressibilité
Critères métrologiques	- Nature du signal de sortie (0-10 V, 4-20 mA...) - Dynamique - Précision - Etendue de mesure - Bande passante
Caractéristiques de l'installation	- Diamètre de canalisation - Perte de charge engendrée - Encombrement - Etalonnage - Usure

I.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présentés les types des débitmètres qui existent avec leurs principes de fonctionnement et le domaine d'utilisation. Nous avons montré aussi, les critères de choix des débitmètres qui se base sur les caractéristiques métrologique, nature du fluide transporté, type de signal de mesure, plage de mesure et le diamètre de la canalisation

Le chapitre suivant, sera consacré au débitmètre utilisé dans l'industrie de gaz

Chapitre II

Modélisation et Simulation des débitmétres

II. Introduction

Les débitmètres de gaz ont connu de nos jours une évolution assez importante et un développement très rapide au sein de l'industrie de gaz. Au regard de son importance d'un point de vue opérationnel, L'industrie s'intéresse beaucoup d'avoir des débitmètres du gaz plus performants. C'est le cas de l'industrie du gaz en Algérie.

Pour cela, ce chapitre est consacré pour décrire les débitmètres du gaz les plus utilisés par l'industrie du gaz en Algérien.

II.1. Les débitmètres du gaz les plus utilisés dans l'industrie du gaz

II.1.1. Débitmètre du gaz à orifice DANIEL

Ce débitmètre de gaz est muni d'un orifice qui engendre une perte de charge. C'est cette perte de charge, associée à la pression du gaz naturel en amont (échelle haute) et la température en aval (échelle basse) de l'orifice qui permet le calcul du débit.

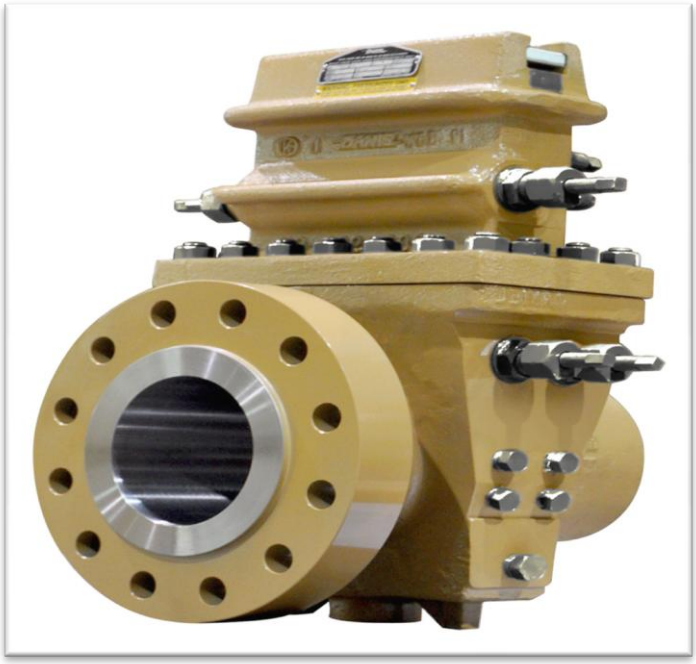

Figure II.1 : Vue réelle de débitmètre à orifice *DANIEL* [12]

En effet, la norme **ISO 5167** définit les conditions de mesure, les exigences et les essais de ces débitmètres.

Ce débitmètre est associé d'un transmetteur de pression (**PT**), un transmetteur de pression différentielle (**DPT**) et un transmetteur de température (**TT**) comme illustré sur la figure II.1:

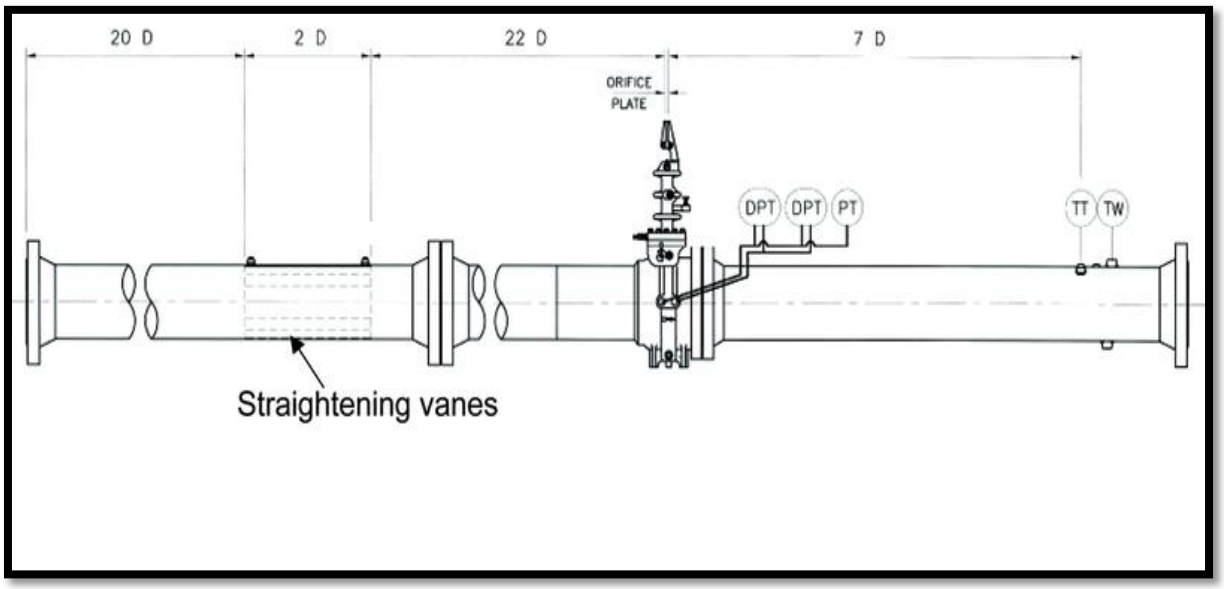

Figure II.1 : Installation de débitmètre de gaz à orifice DANIEL [12]

Le débitmètre à orifice DANIEL se compose d'une plaque mince et plate intercalée entre les brides ou installée dans un raccord dédié. La plaque a un orifice précis et à bout pointu, ancrée concentrique à l'axe du tuyau. Le modèle d'écoulement se contracte à mesure qu'il s'approche de l'orifice - la contraction se poursuit jusqu'à une distance d'environ un diamètre d'orifice en aval. Ce point de section minimale s'appelle la vena contracta Par la suite, le jet diverge vers la section des tuyaux complets. [12]

II.1.1.1. Tables de données opérationnelles de débitmètre DANIEL

Tableau II.1 : Données techniques de débitmètre du gaz DANIEL

Repère	NA
Description	Système de comptage du gaz
Type	Orifice
Fournisseur / Fabricant	DANIEL
Produit	Gaz résiduel
Débit min / normal / max (Nm3/h)	375 000 / 747 683 / 875 000
Pression de service (barg)	70
Température de service (°C)	60
Précision	< 1%

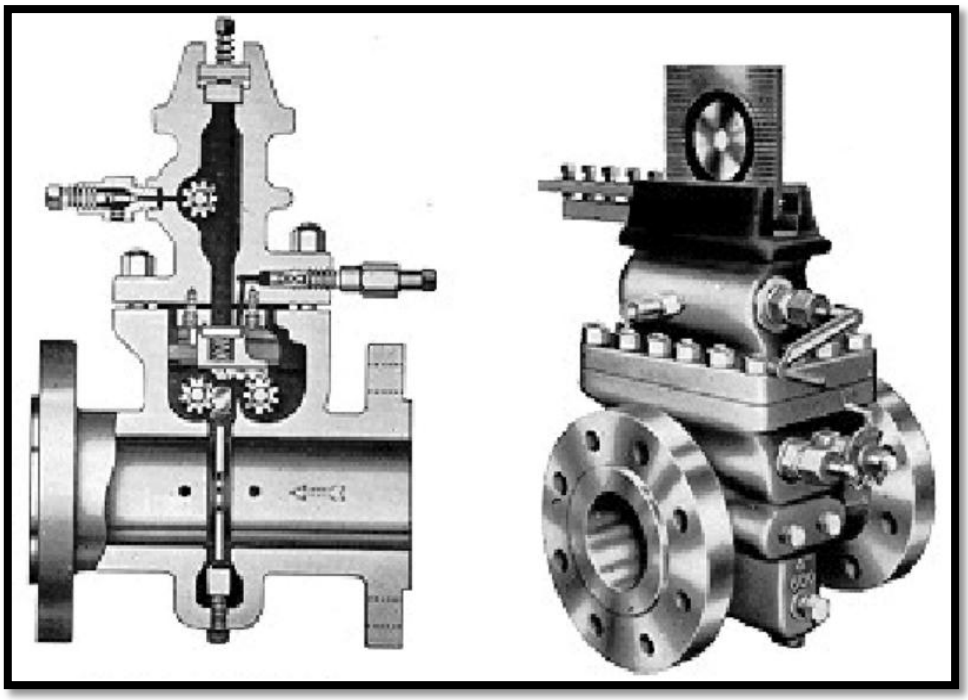

Figure II.2 : différentes parties de débitmètre DANIEL [12]

II.1.1.2. Principe de fonctionnement

L'installation de la plaque d'orifice provoque une différence de pression statique entre le côté amont et la gorge ou le côté aval de la plaque figure II.3. Le débit peut être déterminé à partir de la valeur mesurée de cette différence de pression et de la connaissance de:

- Les propriétés du gaz qui coule;
- Pression en amont ou en aval;
- Température du gaz;
- Les circonstances dans lesquelles l'appareil est utilisé.

Il existe des modifications aux équations généralement acceptées pour le calcul du débit, en raison de :

- Pertes de pression de friction;
- Facteurs d'expansion;
- Autres coefficients dérivés empiriquement.

Diverses équations internationalement reconnues peuvent être appliquées et prennent normalement la forme d'un coefficient de décharge et d'un facteur de dilatation. Une analyse complète peut être trouvée dans ISO TR 5168**. [13]**

II.1.1.3 .Dimensionnement

La taille de débitmètre à orifice est déterminée en grande partie par la portée des pressions différentielles jugées acceptables pour mesurer. Par exemple, un utilisateur qui est prêt à opérer à des pressions différentielles de 200 po de colonne d'eau pourrait couler plus de 40% de gaz par un dispositif identique à celui qui limite la pression différentielle à 100 po de colonne d'eau. De même, le choix du rapport bêta (le rapport du diamètre extérieur de la plaque d'orifice et du diamètre de l'ouverture de la plaque) aura également un impact sur la plage de mesure. Le calibrage typique s'effectue en limitant le rapport bêta à des valeurs supérieures à 0,65 et à des pressions différentielles comprises entre 10 et 100 po de colonne d'eau. [12]

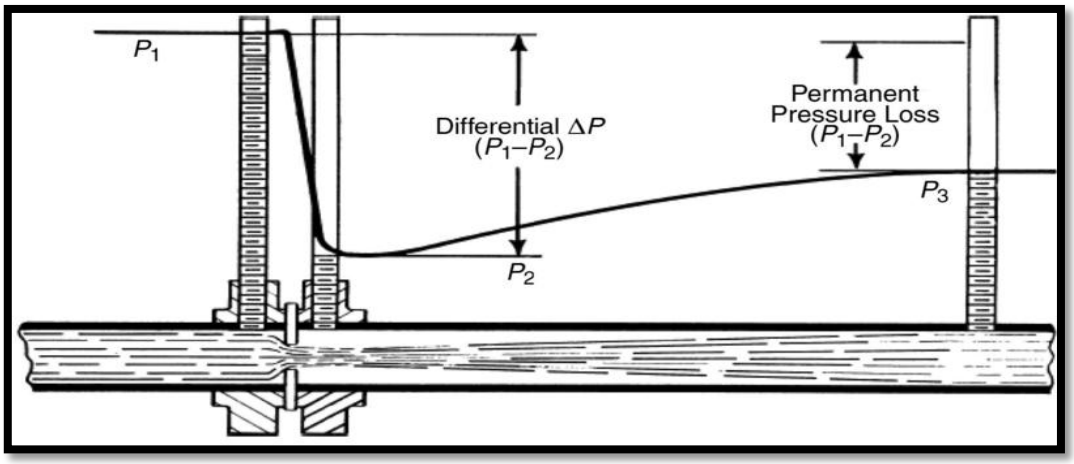

Figure II.3 : Profil de pression du débitmètre d'orifice (avec l'aimable autorisation de Daniel Industries) [4]

II.1.2. Débitmètre du gaz à turbine FLUXI 2000 / TZ

Il existe deux normes principales pour les compteurs de turbines: norme ISO 9951, mesure du débit de gaz dans les conduits fermés: compteurs de turbine et OIML R32, gaz de piston rotatif et compteurs de gaz à turbine, Ce débitmètre est homologué par l'ONML sous la référence 030/DIR/ONML/04.

Les normes ISO 2715 et EN 12261 définissant les conditions de mesure, les exigences et les essais de ces débitmètres.

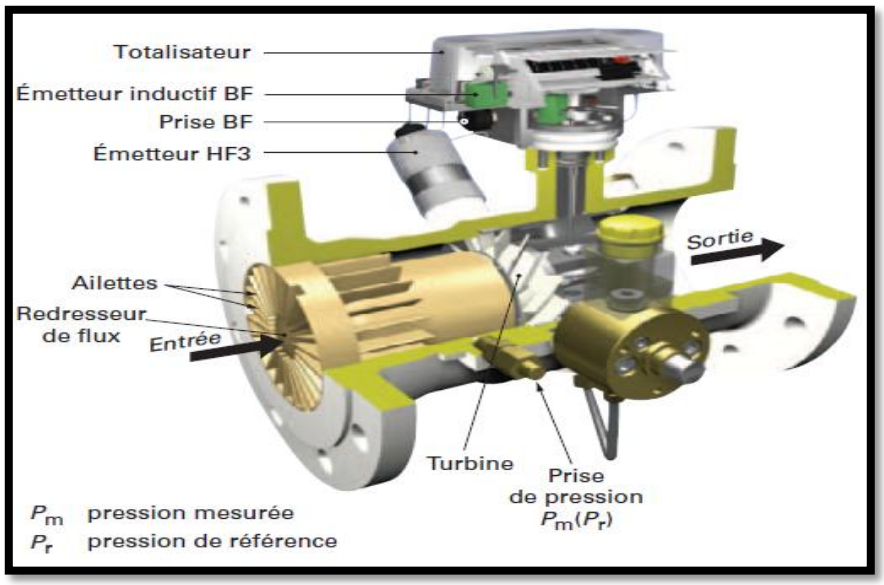

Figure II.4 : Débitmètre « FLUXI 2000 / TZ » de la société Actariùs [12]

II.1.2.1. Spécifications techniques [13]

Approbations métrologiques : Conforme à la directive ;

Sécurité intrinsèque approbation : Conforme à la directive ;

Plage de débit : de $5\ m^3/h$ à$10000\ m^3/h$;

Diamètre nominal : de DN50 à DN500 (de 2" à 20");

Pression maximale de service : Jusqu'à 100 bars en fonction de la matière du corps et de bridage;

Montage : Les compteurs « FLUXI 2000 / TZ » peuvent être installés horizontalement ou verticalement, pour le DN50 à DN300, et horizontalement pour le DN400 et DN500;

Matériaux de corps : acier moulé ou en acier soudé;

Températures: ATEX/PED: -30°C à +60°C;

MID: -25°C à +55°C;

Température de stockage: -40°C to +70°C.

II.1.2.2 .Applications

Le compteur « FLUXI 2000 / TZ » est conçu pour mesurer le gaz naturel, et divers filtré, et les gaz non corrosifs. Ils sont utilisés pour mesurer à moyen et à haut débit du gaz, à faible, moyenne ou haute pression.

En pratique, ce compteur a été optimisé pour une utilisation dans toutes les applications liées au transport et à la distribution de gaz. Le compteur FLUXI 2000/TZ est approuvé pour l'utilisation des finances publiques.

II.1.2.3. Totalisateur

Le compteur « FLUXI 2000 / TZ » est associé à un totaliseur se comprenant **[13]** :

- Un afficheur qui se compose de 9 chiffres comme index pour enregistrer un grand volume possible de gaz à mesurer. Une orientation de 45 ° est considérée pour une lecture facile;
- Totalisateur à rotation libre;

- Equipé en standard d'une cible trajectoire: il permet la mise en place d'un capteur pour voir le sens d'écoulement de gaz à tout moment;
- Equipé d'une cartouche en silice, il est équipé d'une cartouche externe pour faciliter l'entretien même dans des conditions extrêmes;
- Equipé d'un disque réfléchissant sur le premier tambour;
- Disque optique intégré pour faciliter l'étalonnage périodique du compteur;
- Associé par une plaque signalétique pour l'utilisateur (logo, code à barres, le numéro de série de la clientèle ...);
- La protection IP67;
- Résistant aux rayons Ultra Violet (UV);
- L'unité de mesure est lem^3.

II.1.2.4. Principe de fonctionnement

Un turbomètre de base se compose d'un boîtier de compteur contenant de la pression avec des brides d'extrémité, Un ensemble d'éléments internes, incorporant la roue à turbine et les mécanismes d'engrenage, Et un moyen de compter les révolutions de la turbine.

Un compteur de turbine typique a des composants supplémentaires tels que des dispositifs de conditionnement de flux, des mécanismes de lubrification des paliers et des compteurs mécaniques et électriques sophistiqués. Une vue éclatée d'un compteur de turbine est donnée à Pour plus d'informations sur les compteurs de turbines et leur utilisation dans la mesure des liquides.

Comme les compteurs d'orifice, les compteurs de turbine doivent être montés dans un tube à mètre (Figure II.5). La plupart des turbines modernes ont des conditionneurs d'écoulement intégral. Ces conditionneurs aident à enlever le tourbillon et une grande partie de la distorsion du profil d'écoulement, et par conséquent, l'exigence globale de longueur droite en amont du compteur peut être relativement faible. Une exigence typique est de 5 diamètres.

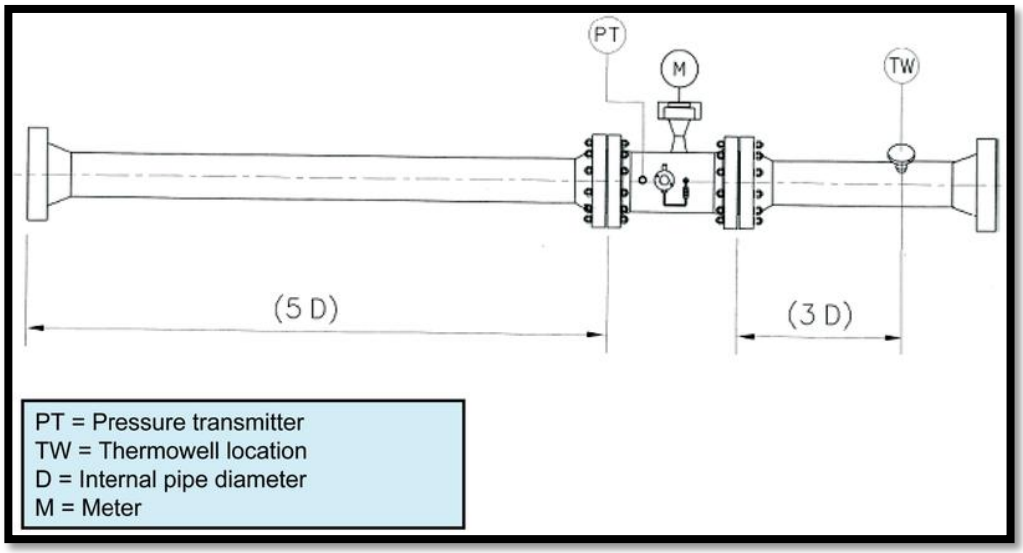

Figure II.6 : installation de turbine flowmeter [12]

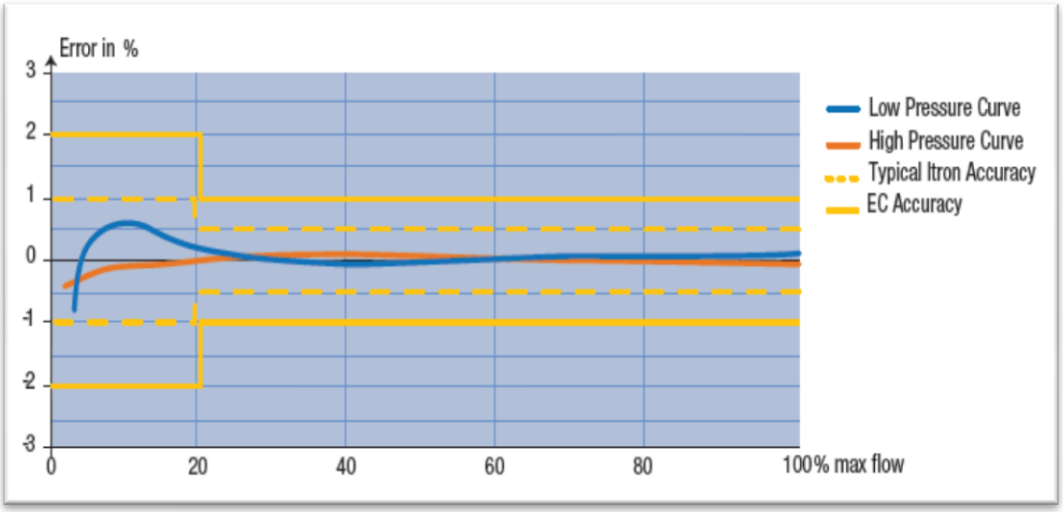

Figure II.7 : Erreur typique de mesure **[12]**

Le fonctionnement d'un turbomètre est basé sur la mesure de la vitesse du gaz. Le gaz qui s'écoule est accéléré et conditionné par la section de redressement du compteur. Les aubes de redressement intégrées préparent le profil d'écoulement de gaz en éliminant le tourbillon indésirable et l'asymétrie avant que le gaz ne glisse sur la turbine à rotation libre. Les forces dynamiques du gaz qui s'écoule provoquent la rotation du rotor. La roue de turbine est montée sur l'arbre principal, avec des roulements à billes à haute précision et à faible frottement. La roue de la turbine a des lames hélicoïdales qui ont un angle connu par rapport au flux de gaz. Le flux de gaz entraîne la turbine à une vitesse angulaire qui dans la gamme linéaire d'un compteur bien conçu, est proportionnelle à la vitesse du gaz. À l'aide d'un mécanisme d'engrenage, la turbine rotative entraîne le compteur mécanique. En outre, la lame rotative

peut également être utilisée pour générer des impulsions via un capteur de proximité. Chaque impulsion détectée est équivalente à un volume discret de gaz dans des conditions réelles (c'est-à-dire que le nombre total d'impulsions collectées dans une période quelconque représente le volume brut observé pendant cette période). Pour chaque compteur, une caractéristique d'étalonnage (facteur K) est nécessaire. Ce facteur est exprimé en impulsions par volume et est donné par le fabricant. [12]

Le facteur **K** est déterminé au moyen d'un étalonnage du débit. Cet étalonnage du débit doit être effectué sur toute la plage de fonctionnement du compteur car le facteur K peut varier en fonction du débit. Cette variation avec l'écoulement est la linéarité du compteur de turbine. Une fois que le facteur K a été défini, le débit par le compteur peut être calculé car les deux quantités sont proportionnelles. [12]

Tableau II.2 : les valeurs de pression de services

			Perte de pression de débitmètre FLUXI 2OOO/TZ (mbar)	
G Dimension	**DN (mm)**	**Débit maximum (m^3/h)**	**Standard ΔPr**	**Par intégration d'un conditionneur de débit ΔPr**
			$\rho = 0.83\ kg/m^3$ T=$0^o C. Qmax$	$\rho = 0.83\ kg/m^3$ T=$0^o C. Qmax$
G65	50	100	9.1	-
G100	80	160	2.4	-
G160		250	5.9	
G250		400	12.8	
G160	100	250	2.2	-
G250		400	5.4	
G400		650	11.8	
G400	150	650	2.7	-
G650		1000	6.6	

G1000		1600	13.8	
G560	200	1000	1.6	2.6
G1000		1600	4.0	6.3
G1600		2500	8.7	13.7
G1000	250	1600	2.1	3.3
G1600		2500	5.0	8.0
G2500		4000	11.0	17.3
G1600	300	2500	2.0	3.2
G2500		4000	5.0	7.8
G4000		6500	9.5	17.0
G2500	400	4000	1.8	2.8
G4000		6500	4.4	6.8
G6500		10000	9.5	14.9
G4000	500	6500	4.4	6.8
G6500		10000	9.5	14.9

Où :

Ap: perte de pression dans les conditions calculées en %;

Δpr: Perte de charge dans les conditions de référence %;

rn: densité de gaz (kg/m3) à 0 ° C et 1013 mbar ;

Pb: pression de service (jauge de Bar) ;

q: débit (m3 / h) ;

Qmax: débit maximal (m3 / h) ;

Tb: température du gaz (° C).

Calcul de perte de pression

$$\Delta p = \Delta p_r \cdot \frac{\rho n}{0.83} \cdot (Pb + 1) \cdot \left[\frac{q}{Qmax}\right]^2 \cdot \left[\frac{273}{(273+Tb)}\right] \quad (II.1)$$

II.1.3. Débitmètre du gaz à ultrasons :

La norme ISO17089 s'appliquant aux compteurs à ultrasons au temps de transit du gaz est utilisé pour le mesurage des transactions commerciales et des allocations, tels que les compteurs à passage intégral, les compteurs à surface réduite, les compteurs à haute pression, les compteurs à basse pression et toute combinaison de ceux-là. A titre d'exemple, nous prenons le compteur « ALTOSONIC V12 » de la société KRHONE (Figure II.8), ce compteur est homologué par l'ONML **[14].**

Figure II.8: Compteur de gaz à ultrason ALTOSONIC V12 [12]

II.1.3.1. Description de l'instrument

II.1.3.1.1. Principales notions des ondes ultrasonores

Une onde ultrasonore est une vibration mécanique se propageant dans un milieu élastique (solide, liquide ou gaz) et dont la fréquence se trouve au-delà des fréquences audibles.

On considère comme ultrasonore une onde dont la fréquence se situe entre 20 kHz et 1 GHz.

Les fréquences utilisées en mesure de débit vont de 200 kHz à 4 MHz.

Les ondes ultrasonores présentent toutes les propriétés générales des ondes élastiques. Elles n'ont pas de propriété qui leur soit propre.

L'intérêt des ultrasons résider dans la petitesse de leur longueur d'onde qui est souvent du même ordre de grandeur que les dimensions caractéristiques des milieux qu'ils parcourent (diamètre des grains, hétérogénéités, défauts éventuels), ce qui leur permet de traverser facilement les matériaux solides et les fluides.

De plus, la petitesse de leur longueur d'onde, leur confère une propagation assimilable à celle des ondes optiques, ce qui permet d'appliquer les lois relatives à l'optique physique (notamment lois de réflexion et réfraction).

Les ultrasons sont utilisés dans un nombre croissant d'applications industrielles : débitmètre, mesure de niveau, mesure de densité, tests non destructifs, mesure d'épaisseur ou de diamètre interne de conduite **[15].**

II.1.3.1.2.Principe de mesure du temps de transition

Pour comprendre le principe : Dans une section de tuyau, deux transducteurs Trd 1A et 1B Trd créent un chemin acoustique.

Cette corde relie les côtés actifs situées sur la surface de deux transducteurs A et B; L étant sa longueur. Le cordon fait l'intersection avec la ligne au milieu du tuyau et l'angle φ.

Les deux transducteurs sont capables de transmettre et de recevoir un signal ultrasonore. À son tour, un transducteur agit comme un émetteur, l'autre comme récepteur, à l'autre sens.

Le temps de transit d'un signal ultrasonore le long d'une corde de mesure est influencé par la vitesse de l'écoulement du gaz (v). Si le débit de gaz est nul, le temps de transit de TRD A à TRD B est exactement le même que le temps de transit de TRD B à TRD A **[16].**

Lorsque le gaz s'écoule, il est caractérisé par une vitesse **v**, c'étant la vitesse du son dans le gaz, « v • cos (φ) » est la composante de **v** dans la direction de mesure.

Cette composante augmente ou diminue la vitesse de l'onde sonore comme elle se déplace d'un transducteur à l'autre transducteur. Par conséquent, Le temps de transit de TRD A à TRD B (TAB) est:

$$T_{AB} = \frac{L}{C+V.\cos\varphi} \qquad \text{(II.2)}$$

En sens inverse (de TRD B à TRD A) le temps de transit (TBA) devient :

$$T_{BA} = \frac{L}{C - V.\cos\varphi} \qquad (II.3)$$

La vitesse du gaz est déduite à partir de la formule (II.2) et (II.3) en tant que:

$$v = \frac{L}{2.\cos\varphi}.\left(\frac{1}{T_{AB}} - \frac{1}{T_{BA}}\right) \qquad (II.4)$$

Une caractéristique importante de ce procédé est que la vitesse du gaz calculée **v** ne dépend pas de la vitesse du son **c**, des propriétés du gaz ou de gaz en général. Elle est calculée uniquement en fonction des temps de transition mesurés t_{AB} et t_{BA}; la longueur de la corde et l'angle d'intersection de la corde de mesure sont censées être connu à partir de la conception de débitmètre.

Comme une option supplémentaire, la vitesse du son dans le gaz peut également être calculée à partir de la formule (II.2) et (II.3) en tant que :

$$c = \frac{L}{2}.\left(\frac{1}{T_{AB}} + \frac{1}{T_{BA}}\right) \qquad (II.5)$$

Ainsi on obtient une valeur mesurée de la vitesse du son, un outil utile à des fins de diagnostic, comme il peut être comparé avec des données provenant d'autres sources.

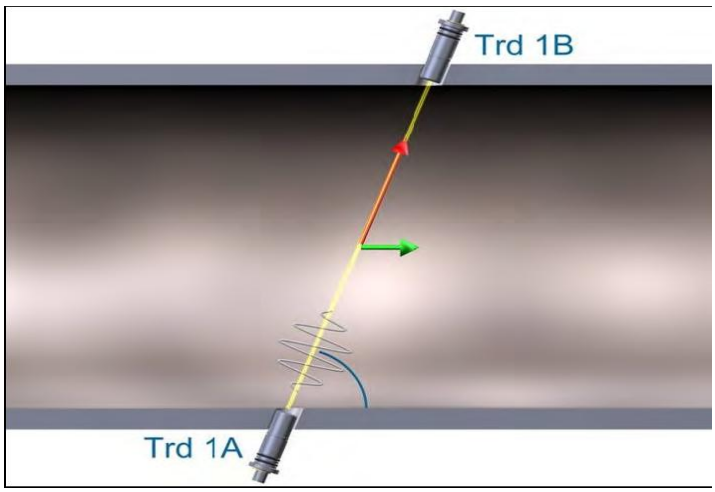

Figure II.9 : Propagation d'onde acoustique sonore **[17]**

II.1.3.1.3. Célérité d'une onde dans un fluide

Dans un fluide la vitesse de propagation (appelée célérité) d'une onde élastique est égale à **[18]** :

$$C = \sqrt{\frac{\rho}{\varepsilon}} \qquad \text{(II.6)}$$

Avec ε rapport entre l'augmentation de pression et l'augmentation relative de la masse volumique ou du volume :

$$\varepsilon = \frac{\Delta P}{\frac{\Delta\rho}{\rho}} = \frac{\Delta P}{\frac{\Delta V}{V}} \qquad \text{(II.7)}$$

En outre, ε a les dimensions d'une pression et est exprimé dans les mêmes unités.

Pour les gaz, la valeur de ε est pratiquement égale à la pression du gaz (P < ε < 1,7 P), en fonction de la nature de la transformation :

- ε = P pour une transformation isotherme ;
- $\varepsilon = \frac{C_p}{C_v} \cdot P$ pour une transformation adiabatique.

Pour les gaz, on utilise aussi l'expression approchée :

$$C = \sqrt{\frac{R}{C_p} \cdot \frac{P}{\rho \cdot z}} \qquad \text{(II.8)}$$

Avec R constante des gaz parfait;

C_p Capacité thermique massique du gaz à pression constante, ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$);

P pression de service en Bars;

ρ Masse volumique du gaz aux conditions de service. (Kg/m^3);

Z facteur de compressibilité du gaz.

II.1.3.2 Mesure de débit en conduite pleine

II.1.3.2.1. Coefficient hydraulique (K_H)

Du fait de la non-uniformité des vitesses d'écoulement dans la section de la conduite, la vitesse moyenne du fluide, le long de la trajectoire (*V*us) est différente de la vitesse moyenne par rapport à la Section ($\bar{V}$) **[18].**

Lorsque la corde est placée dans un plan diamétral (Figure II.10) et que le profil de vitesses est pleinement développé, le passage de Vus à $\vec{V}$ est réalisé à l'aide d'un coefficient K_H appelé coefficient hydraulique, défini par la relation ci-dessous.

$$K_H = \frac{V_{us}}{\bar{V}} \qquad \text{(II.9)}$$

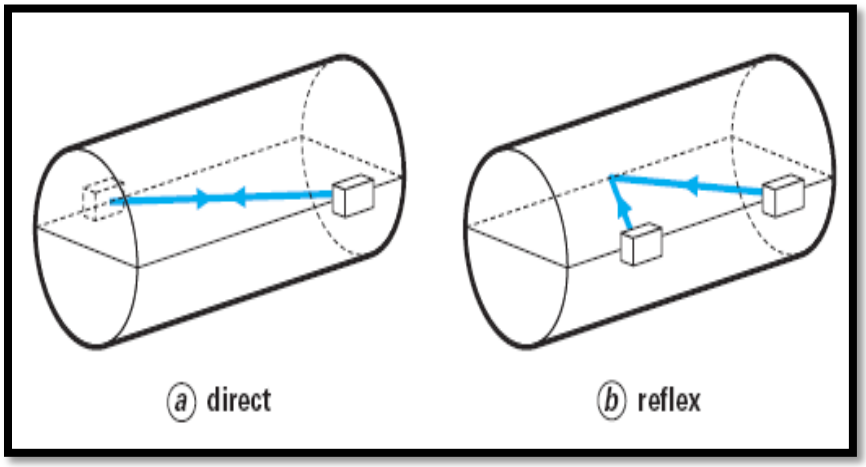

Figure II.10 : Emplacement de sondes [18]

II.1.3.2.2.Calcul de K_H dans le cas d'un écoulement laminaire

Dans le cas d'un écoulement laminaire (Figure II.11**)**, on démontre que la vitesse d'écoulement à une distance r de l'axe de la conduite est égale à :

$$V(r) = V_0\left(1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right) \qquad \text{(II.10)}$$

Avec : V_0: vitesse maximale d'écoulement au centre de la conduite;

R : rayon de la conduite;

$\bar{V}$: vitesse moyenne par rapport à la section.

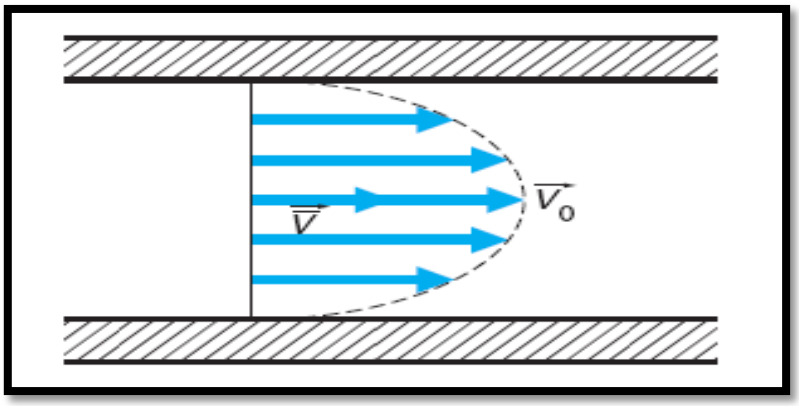

Figure II.11 : Profil de vitesses d'un écoulement laminaire [18]

La vitesse moyenne sur un diamètre est égale à :

$$V_{us} = \frac{1}{2R}\int_{-R}^{R} V_0\left(1-\left(\frac{r}{R}\right)^2\right)dr = \frac{2}{3}V_0 \qquad \text{(II.11)}$$

La vitesse moyenne par rapport à la section de la conduite est égale à :

$$\bar{V} = \frac{1}{2R^2}\int_{0}^{R} 2\pi r V_0\left(1-\left(\frac{r}{R}\right)^2\right)dr = \frac{1}{2}V_0 \qquad \text{(II.12)}$$

De ces deux expressions, on déduit la valeur du coefficient hydraulique :

$$K_H = \frac{\frac{2}{3}V_0}{\frac{1}{2}V_0} = 1{,}333 \qquad \text{(II.13)}$$

Ou (K_H = 0,75 selon le standard duiricanir américain).

II.1.3.2.3. Calcul de KH dans le cas d'un écoulement turbulent :

Dans le cas d'un écoulement turbulent (Figure II.12**)**, le coefficient K_H dépend, pour un diamètre de conduite donné, du nombre de Reynolds et de la rugosité relative de la conduite **[19].**

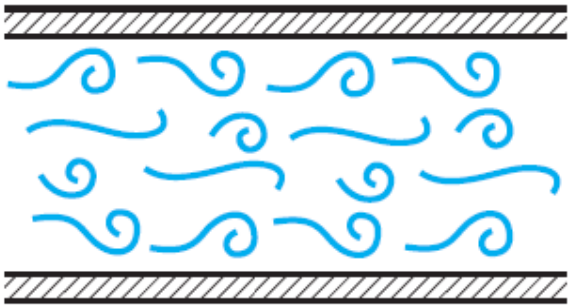

Figure II.12 : Périodicité d'un écoulement turbulent [18]

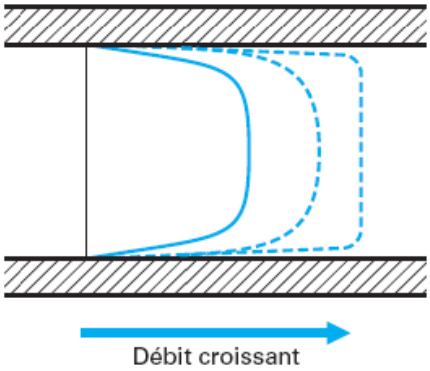

Figure II.13: Allongement et aplatissement du profil de vitesses d'un écoulement turbulent [18]

Dans le cas d'un écoulement turbulent, on démontre que la vitesse d'écoulement à une distance *r* de l'axe de la conduite est égale à :

$$V(r) = V_0\left(1 - \frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{n}} \qquad \text{(II.14)}$$

Avec $\frac{1}{n}$ = 0,25-0,023 (expression souvent admise).

La vitesse moyenne sur un diamètre est :

$$V_{us} = \frac{1}{2R}\int_{-R}^{R} V_0\left(1 - \frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{n}} dr = \frac{n}{n+1}V_0 \qquad \text{(II.15)}$$

En intégrant par parties, l'expression de la vitesse moyenne par rapport à la section est :

$$\bar{V} = \frac{1}{\pi R^2}\int_{0}^{R} 2\pi r V_0\left(1 - \frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{n}} dr = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)}V_0 \qquad \text{(II.16)}$$

L'expression donnant le coefficient hydraulique est donc :

$$K_H = \frac{\frac{n}{n+1}V_0}{\frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)}V_0} = \frac{2n+1}{2n} \qquad \text{(II.17)}$$

Cette expression, connue sous le nom de « modèle de Prandtl », laisse supposer que K_H tend vers 1 lorsque le nombre de Reynolds devient très important.

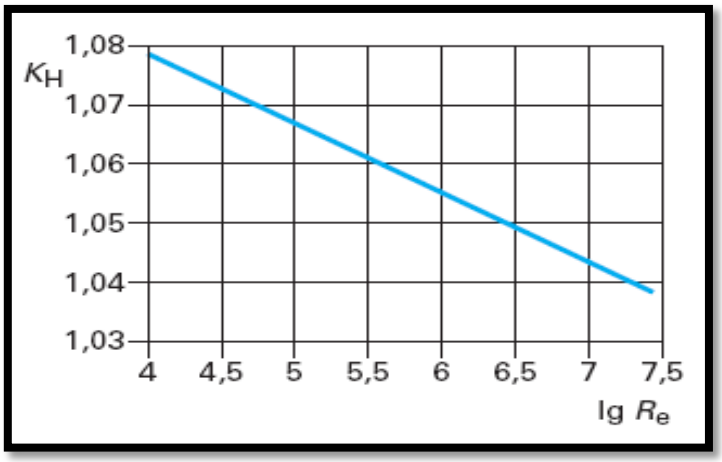

Figure II.14 : Tendance de K_H en fonction de Re selon le modèle de Prandtl [18]

Le modèle de Prandtl a donc été complété par un autre qui tient compte de l'effet de la rugosité. [18]

II.1.3.2.4. Expression du débit

Dans le cas d'une mesure par plans parallèles, la vitesse moyenne sur toute la section est égale à la somme pondérée des vitesses mesurées par les cordes, les coefficients de pondération ***Ci*** dépendant de la méthode d'intégration choisie et du nombre de cordes :

$$\overline{V} = \sum_{i=1}^{n} C_i \cdot V_i \qquad \text{(II.22)}$$

Expression dans laquelle

$$V_i = \frac{L_i^2}{2D_i} \cdot \frac{\Delta T_i}{T_{AB_i} \cdot T_{BA_i}} \qquad \text{(II.23)}$$

Avec L_i Longueur du parcours acoustique de la corde,

D_i Projection de cette longueur sur l'axe de la conduite.

Le débit volumique pour une conduite circulaire est alors égal à :

$$Q_v = \frac{\pi \emptyset_{int}^2}{4} \sum_{i=1}^{n} C_i \cdot \frac{L_i^2}{2D_i} \cdot \frac{\Delta T_i}{T_{AB_i} \cdot T_{BA_i}} \qquad \text{(II.24)}$$

II.1.3.2.5.Calcul du débit volumique en mesure monocorde

Le débit volumique étant égal au produit $S \cdot \bar{V}$

Avec S section interne de la conduite,

$$Q = \frac{\pi \emptyset_{int}^2}{4} \cdot \frac{L^2}{2D} \cdot \frac{\Delta T}{T_{AB} \cdot T_{BA}} \cdot \frac{1}{K_H} \qquad \text{(II.18)}$$

Avec $\emptyset_{int}$ diamètre intérieur de la conduite

II.1.3.3. Mesure du débit par plans parallèles

II .1.3.3.1. Principe général :

Soit une conduite de rayon R comme s'est illustrer dans la figure II.15. La vitesse moyenne par rapport à la section est calculée en intégrant d'abord la vitesse le long d'une corde d'abscisse x puis en intégrant celle-ci sur toute la section ($V(x, y)$ qui représente la vitesse en un point de coordonnées (x, y) **[18]** :

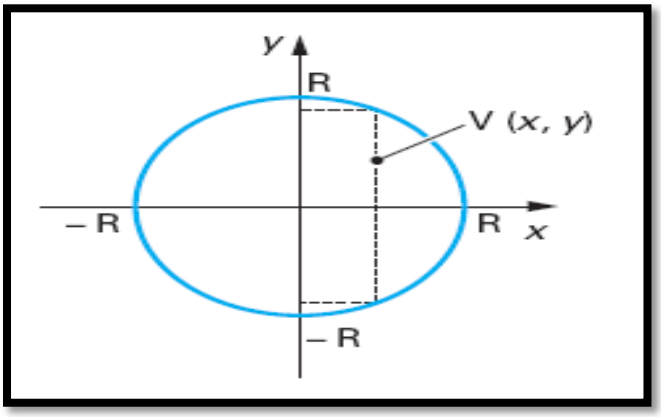

Figure II .15 : Profil d'une conduite [18]

$$\bar{V} = \frac{1}{\pi R^2} \int_{-R}^{R} \left[\int_{-\sqrt{R^2-X^2}}^{\sqrt{R^2-X^2}} V(X,Y) \right] dX \qquad \text{(II.19)}$$

La vitesse moyenne le long d'une abscisse x étant égale à :

$$V_X = \frac{1}{2\sqrt{R^2-X^2}} \int_{-\sqrt{R^2-X^2}}^{\sqrt{R^2-X^2}} V(X,Y) dY \qquad \text{(II.20)}$$

On obtient

$$\bar{V} = \frac{1}{\pi R^2}\int_{-R}^{R} V_X\sqrt{R^2 - X^2}dX = \frac{2}{\pi R^2}\int_{-R}^{R} F(X)dX \qquad \text{(II.21)}$$

Les mesures $\mathbf{V_{x_i}}$ effectuées sur des plans parallèles d'abscisse ***x*i** permettent de connaître les valeurs *F* (*x*i) correspondantes.

Le problème consiste donc à calculer l'intégrale d'une fonction $\boldsymbol{F\ (x_i)}$ dont on connaît un nombre *n* de valeurs discrètes.

Plusieurs méthodes mathématiques permettent de résoudre ce problème (Newton, Tchebychev, Gauss-Jacobi, Gauss), les méthodes d'intégration de Gauss-Jacobi et de la méthode de Gauss, toutes deux basées sur le calcul des coefficients de Legendre, étant les plus utilisées car elles procurent la meilleure précision avec un nombre minimal de plans de mesure.

II.2.1. Installation de compteur de gaz à ultrasons

Il faut toujours soulever le débitmètre et ses bobines de tuyaux adjacents (le cas échéant) aux anneaux de levage ou utiliser le levage angulaire (Figure II .16**)** :

- Installation du débitmètre de gaz à ultrasons en position horizontale avec l'indicateur des flux de flèche sur la plaque ou sur le corps du compteur dans le sens de l'écoulement (vers l'avant) dans la direction positive de l'écoulement du gaz;
- Le convertisseur doit être situé dans la partie supérieure de l'appareil de mesure de débit à ultrasons;
- Etablir la connexion pour le transmetteur de pression au Pr point sur le corps du compteur en utilisant un vanne d'isolement intermédiaire et / ou la vanne de collecteur.
- L'ensemble de température (élément PT100 avec thermo bien et émetteur) doit être installé en aval dans la direction d'écoulement positif à une position entre 1.5DN et 3DN. Dans le cas d'une demande de débit bidirectionnel, le transmetteur de température est positionné entre 3DN et 5DN.

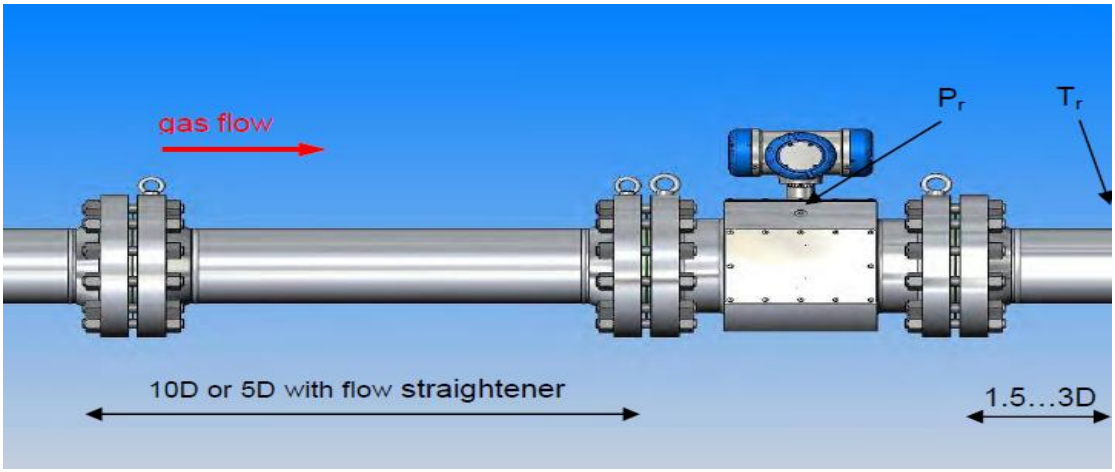

Figure II .16 : Exigences générales d'installation [12]

II.3. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit les principaux débitmètres du gaz plus utilisés par l'industrie de gaz. Nous avons étudié trois types de débitmètre de gaz. A cet effet, nous voulions faire une étude comparative technique et économique entre eux pour que nous puissions choisir le plus optimale aux intérêts de l'industrie de gaz. Ainsi, nous allons procéder par des simulations de ces débitmètres de gaz selon les conditions de service opérationnelles, et les résultats obtenus nous permettront bien évidemment de faire le choix, ce qui fait l'objet du chapitre suivant.

Chapitre III

Simulation & Interprétation des résultats

III. Introduction :

Ce chapitre contient la simulation des éléments essentiels de la réalité, cependant, nous voulons pouvoir contrôler cette réalité. Nous voulons voir comment certaines unités qui nous intéressent (la pression, le diamètre, le temps de transition…) se comportent face à la réalité que nous avons recréé. Les objectifs poursuivis peuvent être l'observation, la mesure, la prédiction, ou l'amélioration des comportements en réponse Sous divers challenge simulé.

Pour cette raison, nous allons utiliser le logiciel Matleb/ Simulink comme un moyen pour simuler les trois débitmètres du gaz : à orifice, à turbine et à ultrasons en appelant leurs modèles mathématiques en fonction des mêmes conditions de service réelles utilisées dans l'industrie.

III.1. La Simulation du débit pour les débitmètres plus utilisés dans l'industrie de gaz par MATLAB/Simulink :

III.1.1. Débitmètre à orifice

III.1.1.1.Simulation de Débit volumique en fonction de pression différentielle :

$$Q_v = s\sqrt{\frac{2}{\rho.(1-\frac{d^4}{D^4})}}. \qquad \text{(III.1)}$$

En utilsant la norme **ISO 5167** , basant sur la formule pratique utilisée pour calculer le débit volumique du gaz en fonction de la variation de différence de pression.

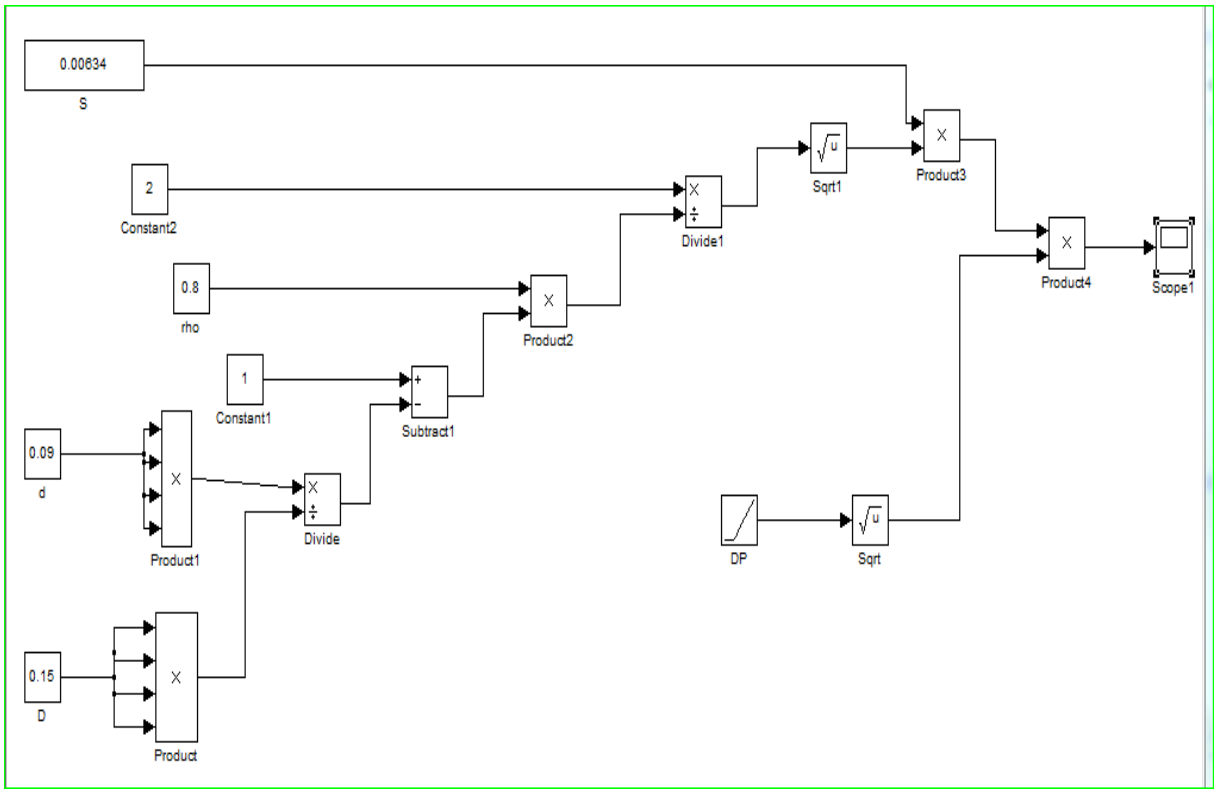

Figure III.1 : Simulation de Qv en fonction de DP par Simulink

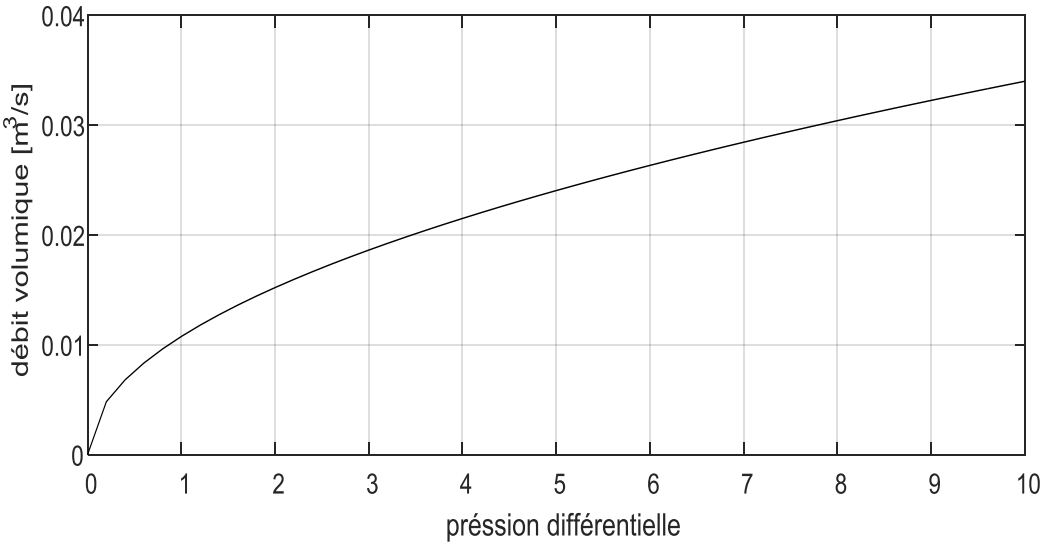

Figure III.2 : résultat de simulation f(Qv)=DP

III.1.1.2. Simulation de Débit volumique en fonction de Diamètres d & D (Beta) :

La deuxième simulation concerne le calcul du débit volumique en fonction de variation de rapport de diamètreβ. Pour cela, nous avons insérés quelques valeurs de diamètre intérieur de l'orifice (d) car on suppose que le diamètre extérieur de l'orifice D est déjà fixé à une valeur environ de 685 mm qui est en même temps le diamètre de la conduite où le gaz circule. Par conséquent, on obtient un rapport de diamètre β variable car β est égale à $\frac{d}{D}$. Les résultats obtenus de cette simulation sont comme suit : **[16]**

Où :

d = Diamètre intérieur de l'orifice. (m);

D = Diamètre exterieur de l'orifice. (m).

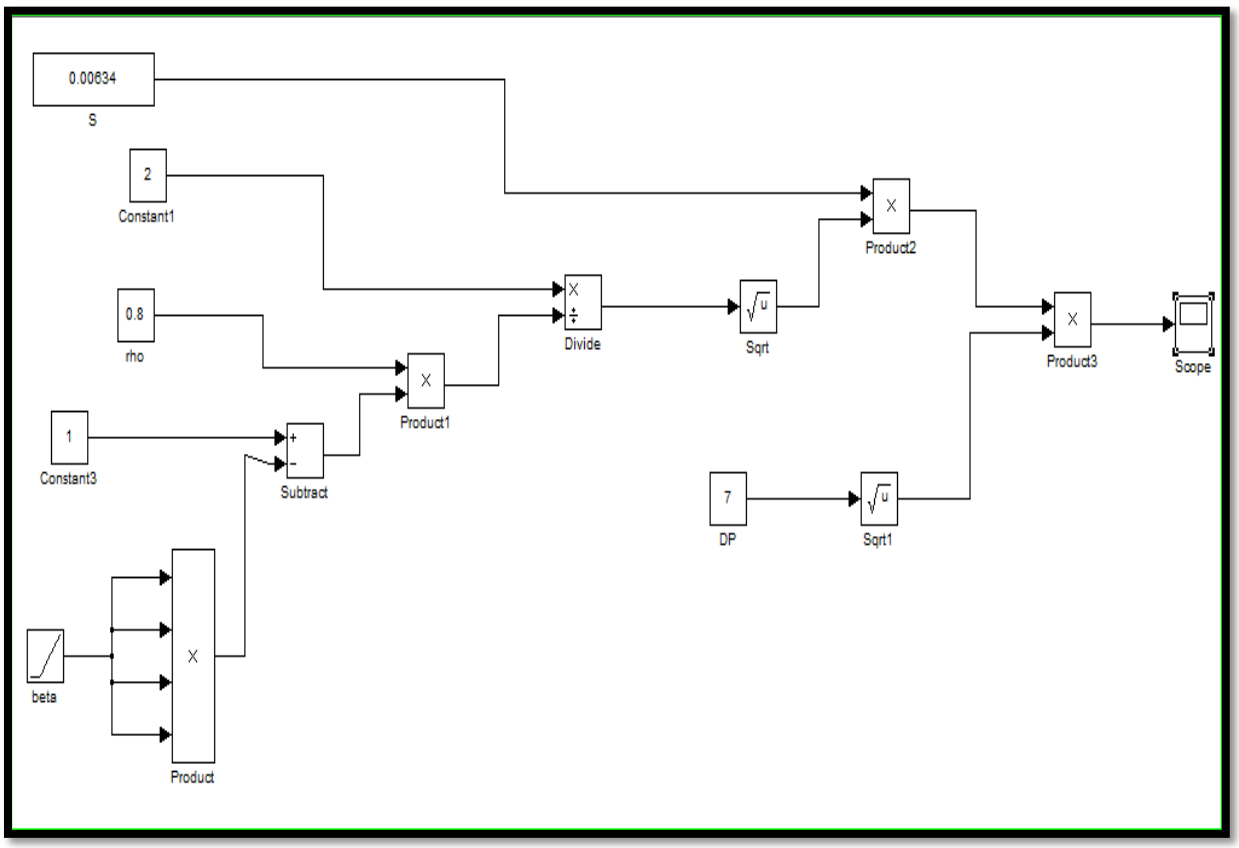

Figure III.3 : Simulation de Qv en fonction de Beta

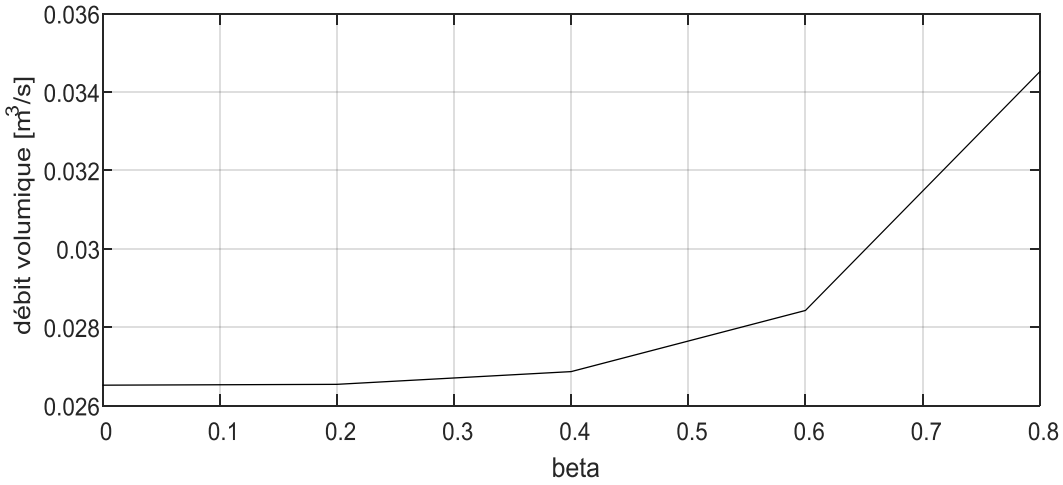

Figure III.4 : Résultat de la simulation de f (Qv)=β

III.1.2. Débitmètre à turbine :

Le débitmètre à turbine ne contient pas les forces de retard, les lames de rotor sont bien limitées et déterminées. Pour cela, la force motrice totale est concentrée au rayon d'une façon uniforme et par conséquent la distribution de la vitesse du gaz entrant dans les lames est dans une direction axiale. Le débit volumique idéal est calculé par la formule suivante :[2]

$$Q_v = \frac{r \cdot S \cdot W_i}{tan\ \beta} \qquad \text{(III.2)}$$

Où

Q_v : Débit volumique du gaz. (kg/h);

r : Valeur moyenne de rayon de rotor. (mm);

S : Section annulaire de flux du gaz. (mm^2);

W_i : Vitesse de rotation angulaire du rotor. (rad/s);

β : Angle de la lame de turbine. (rad).

D'autre part, nous avons :

$$W_i = \frac{V_1 \cdot \tan\beta}{r} \qquad \text{(III.3)}$$

Avec $V_1 = \frac{Q}{S}$;

où :

V_1 : vitesse de gaz circulant dans la conduite;

Et $S = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2$; où D : Diamètre de la conduite

III.1.2.1. Débitmètre à turbine réel :

En réalité, il est vraiment difficile de trouver des valeurs pour les paramètres qui influent sur la performance d'un débitmètre à turbine. En utilisant des conditions d'exploitation permanente, le modèle est validé par comparaison avec les données de correction réelle de l'appareil.

Nous pouvons obtenir l'équation qui relie le débit réel affiché sur le débitmètre et celui qui est idéal Q sans pris en compte des moments mécaniques et les forces de retard sous exploitation permanente des conditions, d'où :

$$Q_{réel} = Q - \left(\frac{S\cdot(1+\eta)}{\tan\beta\cdot\rho\cdot r\cdot Q}\right)\cdot M_{mf} \qquad \text{(III.4)}$$

Dans notre simulation, nous prenons les valeurs suivantes :

r = D/2;

$\beta = 45$;

$\eta = 0{,}2$.

Où

r : est le rayon de la lame de la turbine à l'intérieur de débitmètre;

D : diamètre de la conduite;

β : L'angle entre la lame et le rotor de la turbine;

η : Facteur de déviation.

Pour valider ce modèle mathématique, nous avons utilisé MATLAB/Simulink comme moyen de simulation afin de pouvoir vérifier la nature de fonctionnement ainsi que les propriétés de ce compteur selon les données réelles de l'usine.

III.1.2.2. Vitesse moyenne de gaz dans une conduite :

Figure III.5 : Valeurs de vitesse en fonction de diamètre [12]

Pour vérifier l'imapct de diamètre sur le fonctionnement de débitmètre à turbine, nous sommes arrivés à effectuer la simulation concernant la variation de valeurs nominales et opérationnelles liées au diamètre de la conduite pour connaitre les résultats de débit volumique du gaz naturel obtenus par le biais de cette simulation exactement comme il est illustré sur la figure III.6.

III.1.3.Simulation du modèle de débitmètre à turbine

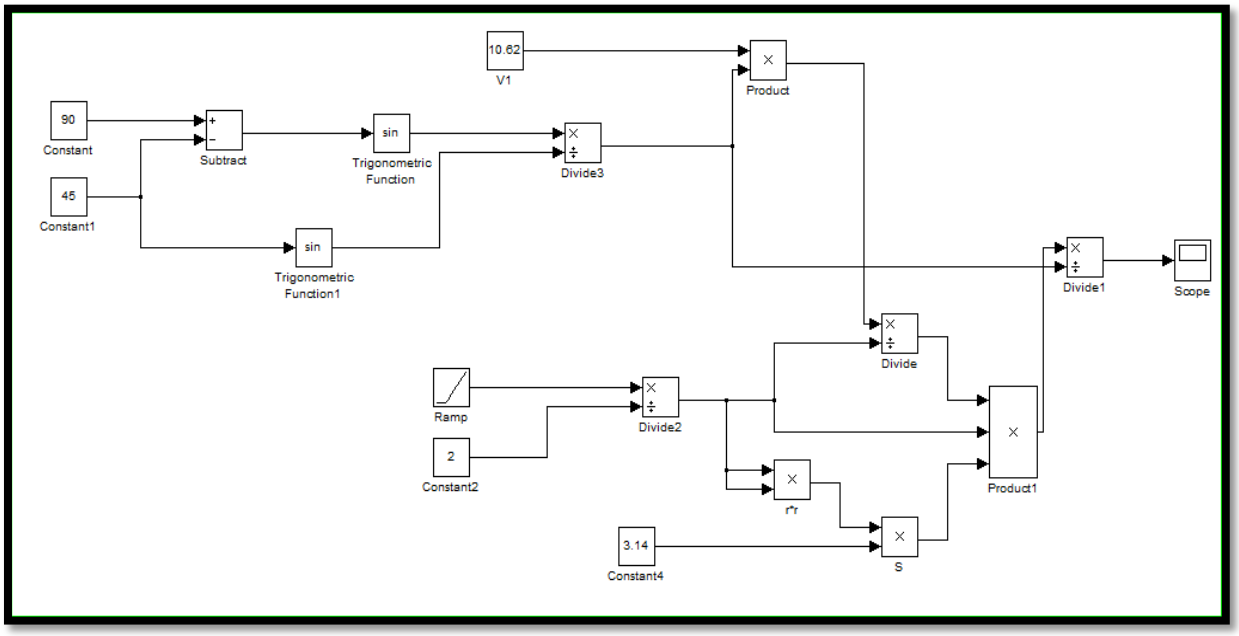

Figure III .6 : Qv en fonction de variation de Diamètre D

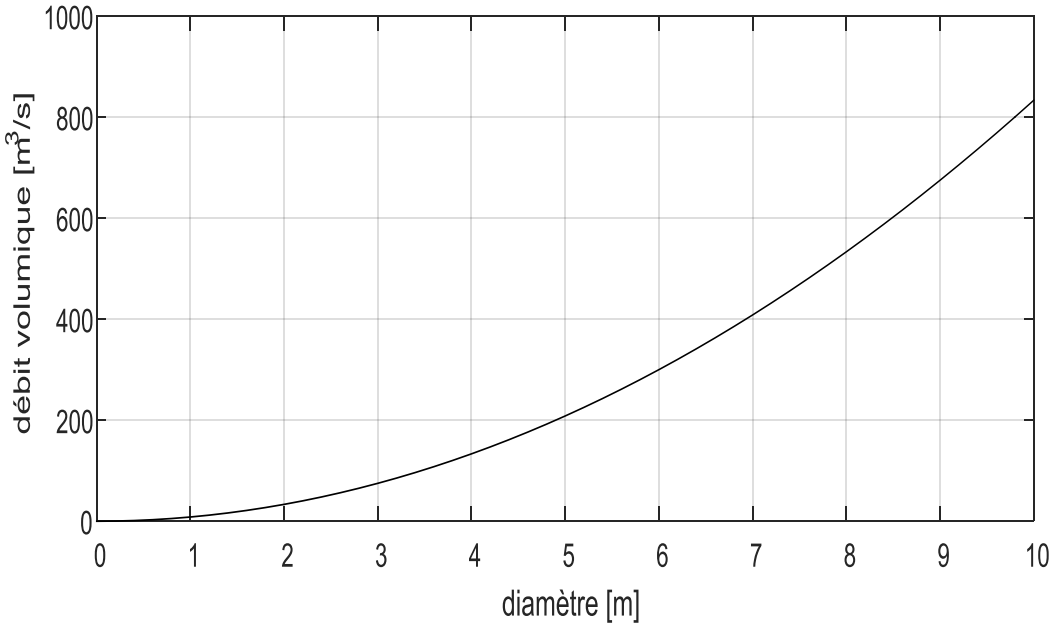

Figure III .7 : Résultat de simulation f(Qv)= D

III.1.3. Simulation de débitmètre à ultrasons :

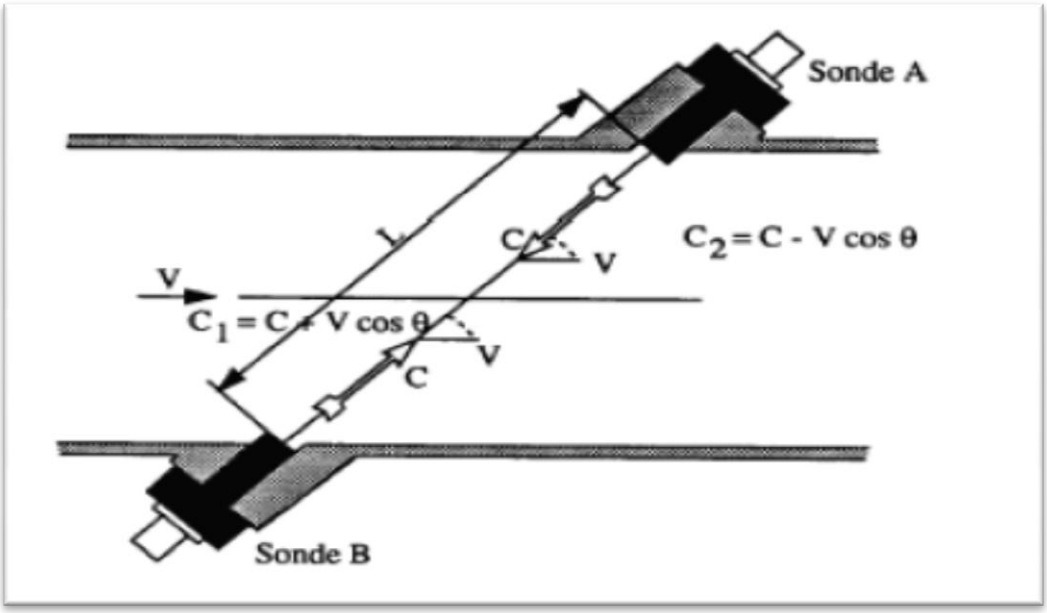

Figure III .8 : Principe de fonctionnement de débitmètre à ultrason [3]

III.1.3.1. Calcul du débit volumique en mesure monocorde :

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{L^2}{2d} \cdot \frac{\Delta T}{T_{AB} \cdot T_{BA}} \cdot \frac{1}{K_H} \qquad \text{(III. 5)}$$

Nous avons utilisé les données réelles de service du gaz GPL ; Pour établir la simulation du débitmètre à ultrasons.

Premièrement, on va simuler les deux temps TAB et TBA de transition entre les deux transducteurs A et B :

II.1.3.2.la simulation du temps TAB de transition entre les deux transducteurs A et B :

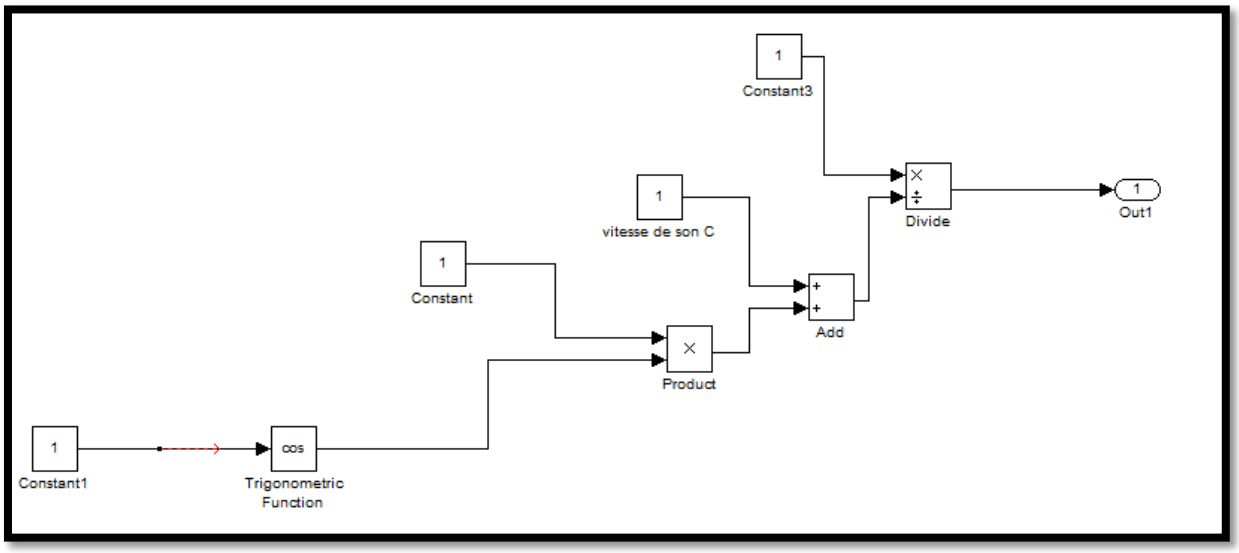

Figure. III.9 : Simulation de temps de transition de la longueur du son de transducteur A vers B.

III.1.3.3.Simulation de temps de réflexion de la longueur du son de transducteur B vers A

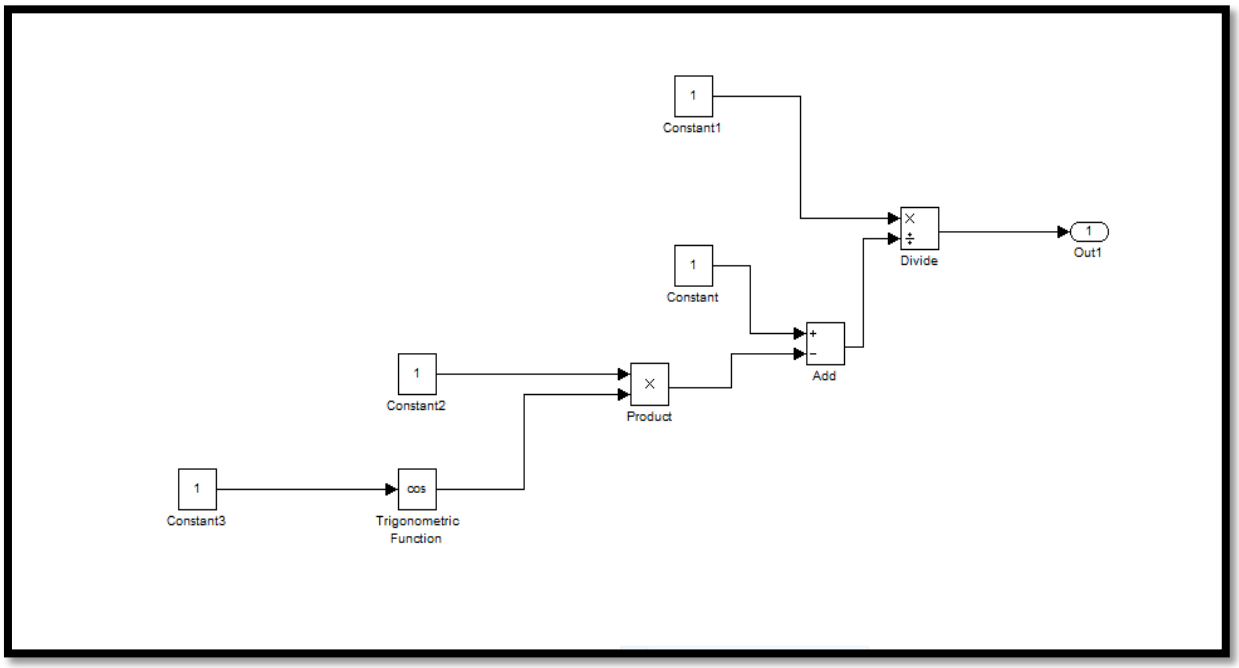

Figure. III.10 : Simulation de temps de réflexion de la longueur du son de transducteur B vers A.

Selon la formule(III. 5) , et avec l'intégration de (Figure. III.9) , (Figure. III.10). on obtient cette simulation :

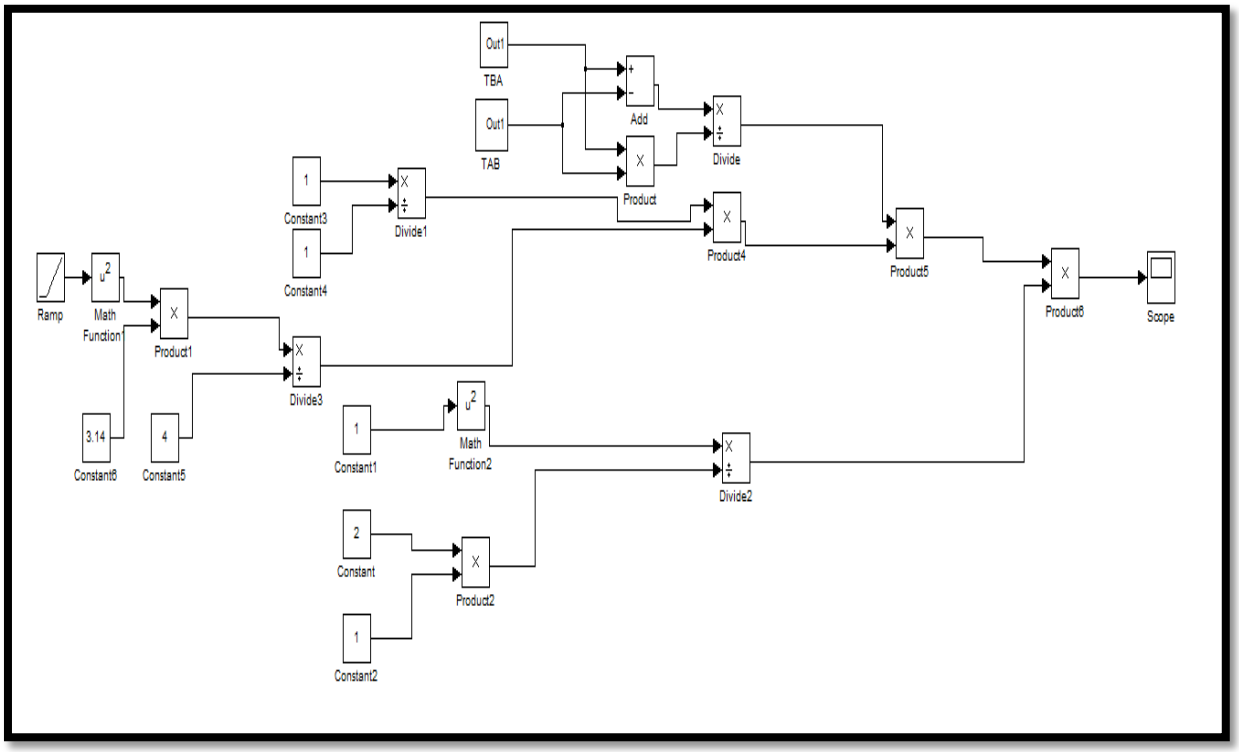

Figure. III.11 : Simulation de débit du gaz pour un débitmètre à ultrasons

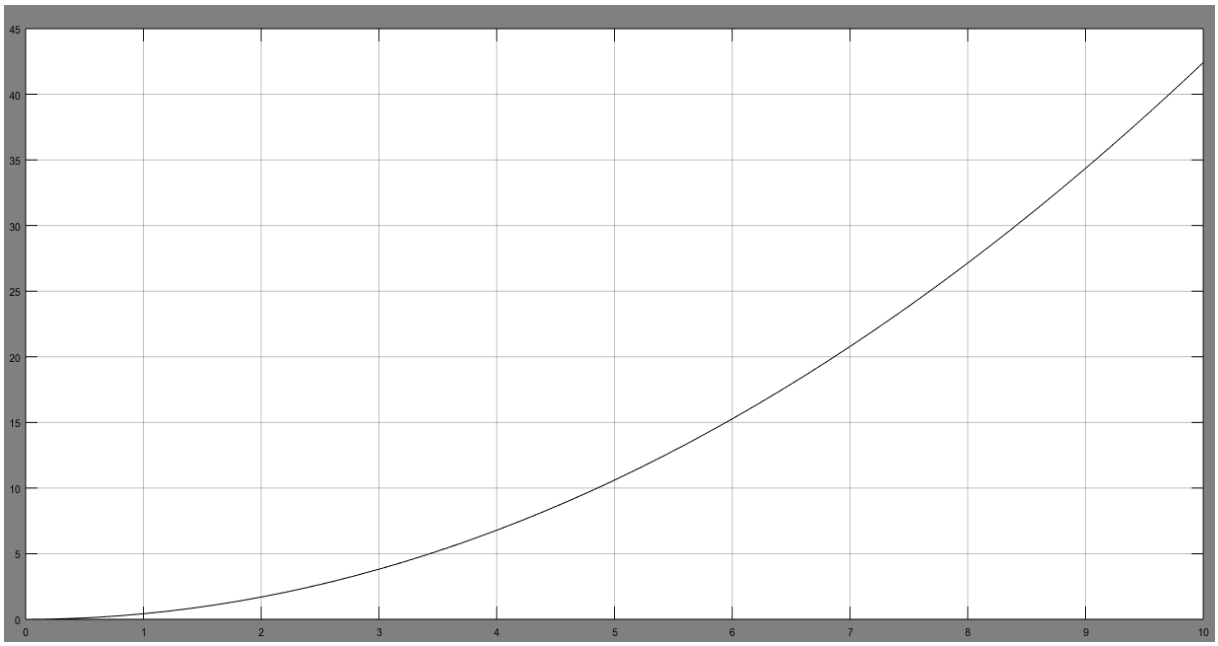

Figure. III.12 : Résultat de Simulation de f(Qv)= D

III.2. Interprétation des résultats obtenus par la simulation :

III.2.1. Débitmètre à orifice :

- Le résultat de simulation illustré sur la figure III.2 montre que la variation de différence de pression (DP) entre la pression en aval et en amont influe sur le mesurage du débit du gaz.

Ça se traduit que le système du comptage à base de débitmètre à orifice est très sensible à la variation de différence de pression entre l'amont et l'aval de ce débitmètre.

A partir de cet résultat, il faut tenir en compte la pression de service de gaz comme un paramètre primordial dans le dimensionnement d'un système de comptage utilisant le débitmètre à orifice dans une installation de gaz et tout simplement cette relation peut être traduite par :

$$\mathrm{D}P \uparrow = Q_v \uparrow \quad \text{(III. 6)}$$

- Puisque Beta est le rapport de diamètre $\frac{d}{D}$, le résultat de simulation illustré sur la figure III.4 montre que lorsque β augmente le débit du gaz mesuré par un débitmètre à orifice augmente.

Et ça se traduit par une relation presque proportionnelle entre le débit mesuré et le diamètre D et tout simplement :

$$\beta \uparrow = Q_v \uparrow \quad \text{(III. 7)}$$

III.2.2. Débitmètre à turbine :

Le résultat de simulation illustré sur la figure III.7 montre que la valeur de diamètre de la conduite (D) où le gaz s'écoule influe sur le débit du gaz mesuré par ce type de débitmètre, elle devient très importante particulièrement quand les valeurs de diamètre de la conduite (D) sont petites et par contre elle devient négligeable quand les valeurs de D sont très grandes.

III.2.3. Débitmètre à Ultrason :

Le résultat de simulation illustré sur la figure III.12 montre que la variation de diamètre de la conduite D n'a pas une grande influence sur le débit du gaz mesuré par un débitmètre à ultrasons, c'est-à-dire la variation de diamètre de la conduite n'est pas considéré comme un paramètre primordial dans le dimensionnement d'un système de comptage du gaz à base de débitmètre à ultrasons. Cependant il semble que la variation de la vitesse de gaz qui

s'écoule dans la conduite possède une grande influence sur le mesurage du débit de ce gaz par un débitmètre à ultrasons et cette dépendance directe revient au principe de fonctionnement de ce type de débitmètre, car le facteur hydraulique (K_H) contribue directement dans le calcul de débit et ce dernier a une relation avec la vitesse du gaz s'écoulant dans la conduite : [19]

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{L^2}{2d} \cdot \frac{\Delta T}{T_{AB} \cdot T_{BA}} \cdot \frac{1}{K_H} \quad \text{(III. 8)}$$

III.3. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la simulation de débit du gaz obtenu selon les conditions de service réelles de l'usine en utilisant la modélisation des différents débitmètres : débitmètre à orifice, débitmètre à turbine et débitmètre à ultrason.

Nous avons obtenu les résultats de ces simulations sous forme des courbes et ça évidemment nous aide à interpréter et expliquer ces résultats.

Conclusion générale

Conclusion Générale

Le comptage du débit présenté un grand soucie pour les sociétés de production de gaz e du pétrole, et il prend un parti important dans les programmes de maintenance et contrôle périodique.

Ce mémoire est une contribution au domaine large des nouvelles technologies de mesure de débit, de suivi et contrôler. Pour cela, nous avons présentés les trois débitmètres utilisés dans l'industrie du gaz :

- Débitmètres à orifice;
- Débitmètres à turbin ;
- Débitmètre à ultrason.

La nature du fluide transporté, la précision de mesure ainsi que les conditions d'installation et de service sont tous des critères qui ont conduit à une utilisation de différents types de débitmètres, dont on peut citer les débitmètres à orifices, à turbine et à ultrasons.

L'utilisation d'un débitmètre nécessite la connaissance de la dynamique de mesure (rapport du débit maximal sur le débit minimal à mesurer) pour qu'on puisse minimiser la perte de charge et limiter le coût d'exploitation, mais aussi pour éviter les phénomènes de dégazage et de cavitation au sein même du débitmètre.

Le débitmètre à ultrasons ne présente pas beaucoup d'avantages au regard de son utilisation dans l'industrie, et ça revient évidemment à sa limitation d'emploi quand le cas est le mesurage du gaz. En revanche, ce type de comptage reste toujours en développement en raison de son apparition récente dans l'industrie gazière par rapport aux autres systèmes de comptage du gaz**.**

Par ailleurs, nous avons déduit que le débitmètre à orifice répond bien à notre étude qui se base sur la modélisation et simulation d'un résultat réel suivant les normes de station de comptage gazière au sud d'Algérie.

Comme perspective, on proposer une étude large sur les autres types de débitmètres, on prendre par considération qui influe sur le débit.

Enfin, nous conclusions que le choix d'un type de débitmétre dans l'industrie du gaz dépend de divers facteurs. La décision finale résulte, généralement d'un compromis entre plusieurs contraintes qui sont souvent antagoniste.

Références bibliographiques

Les références

[1] : HARROUZ Abdelkader, Etude expérimentale de contrôle et de vérification d'un système de comptage dynamique de l'hydrocarbure, 21/04/2016.

[2] :C.GAILLEDREAU., techniques de mesure des débits des fluides industriels, 1989.

[3] : Mouloud guemana _ mesure des gras débits de gaz contribution des venturi_ Tuyèresa col sonique mémoire de magister. 2002

[4] :MOHAMED., INSTRUMENTATION FONDAMENTALE : APPAREILS DE MESURE ET REGULATION PID, 2012.

[5] : Ludovic JEZEQUEL BTS chimiste lycéeCoeffin-Baie Mahault

[6] : Pascal DEREUMAUX, « *Mesure et capteurs de débit* », <http://sitelec.org/cours/dereumaux/mesurdebit.htm >, 21 septembre 2001.

[7] :M.JOLOVET, « Comptage du gaz », Conception Construction et Exploitation des Réseaux de Transport de Gaz Naturel, Association Technique de l'Industrie du Gaz en France, Révision 1 de 1992

[8]: technologies de mesure pour le comptage énergétique-crédit photos: CETIAT. Mars 2014.

[9]: Perpy.H. « Chemical engeineers », Hand book; McGraow-Hill, Book Company,1989.

[10]: débitmétres électromagnetiques rosemount série 8700-fiche de specifications 00813-0103-4727, rév.NAjuillet 2004.

[11] : GAILLEDREAU. C., 01-1992 « *Choix d'un débitmètre* », Technique de l'ingénieur, Traité Mesures et Contrôle, R 2200.

[12]: KROHNE - 4003164301 - TD ALTOSONIC V12 R01, « Technical Data Sheet ALTOSONIC V12 », 10/2013.

[13] : Fisher Rosemoumanaging the prosesbette « principe fondamentaux de mesure de débit», DETEN GDF, cogrès du gaz, Lyon 1989.

[14]: Itron GmbH, « *FLUXI 2000 / TZ meter Manual* », GA-Fluxi-2000-TZ-EN-V3.0-2012.01, Copyright 2011.

[15]: KROHNE, ALTOSONIC V12, « *Operation and Installation Manual* », V12-V6doc, 31/05/101

[16] : Boris KADIR «*Mesure de débit par ultrasons – Mesure en conduite plein Mesure en Conduite pleine* », Technique de l'ingénieur, Métrologie relative à la fluide vitesse et Débits, R 2265, , 10/09/2004.

[17]: KROHNE, ALTOSONIC V12, « *Operation and Installation Manual* », V12-V6 2010-05-31. Doc, 31/05/2010.

[18]: Boris KADIR, «*Mesure de débit par ultrasons – Mesure en conduite pleine - Mesure en Conduite pleine* », Technique de l'ingénieur, Métrologie relative aux fluides - Vitesses et Débits, R 2265, 10/09/2004.

[19] : Mohamed Oulhadj., 2014«Etude comparative technico-économique des différents Systèmes de comptage de gaz transactionnels utilisés par Sonatrach et ses partenaires»,

Résumé :

Les économies modernes des pays reposent principalement sur les fluides énergétiques ce qui nécessite le contrôle et la mesure des quantités ou des volumes de fluides mis en jeu dans un processus de fabrication ou dans une transaction commerciale pour gérer intelligemment les rendements et les volumes d'entrée et de sortie des fluides. Le transport des fluides industriel dans les conduites et les mesures de leurs débit sont nécessaires pour la plus part des opérations de production et de commercialisation. La nature des fluides peut être modifiée en causant des variations dans la composition ou dans les paramètres de ces derniers (la température, la pression ou la vitesse).

Le débit, intervient, en tant que variable, dans le transport des fluides liquides ou gazeux et des solides d'un lieu vers un autre, soit pour l'alimentation d'une chaine de production ou pour être stocké entant que produit fini. Le but de cette étude est de modéliser et simuler le débit de certains débitmètres dans l'industrie de gaz. Des résultats de simulation du débit de trois types de débitmètre (à orifice, à turbine, à ultrason) sont affichés par Simulink/MaStleb.

Mots clés : débitmètre dans l'industrie de gaz, Modélisation et Simulation du débit,

الملخص :

اقتصاد الدول الحديثة يعتمد اساسا على سوائل الطاقة ،الأمر الذي يتطلب رصد و قياس كميات و حجم هده السوائل ،كما تشارك هده الدول في عملية التصنيع أو في المعاملات التجارية. نقل سوائل الصناعية في الأنابيب و قياس سرعتها مطلوب في معظم عمليات الإنتاج و التسويق. طبيعة السوائل يمكن تعديلها من خلال الاختلافات في التكوين أو في معالمه (درجة الحرارة أو الضغط أو السرعة).

التدفق يحدث تغيرات في نقل السوائل و المواد الصلبة أو السائلة الغازية من مكان الى آخر كما قد يحدث تغيرات في تغذية خط الإنتاج ليتم تخزينها كمنتج نهائى .

الغرض من هده الدراسة هو نمدجة و محاكاة تدفق بعض مقاييس التدفق في صناعة الغاز و يتم عرض نتائج محاكاة ثلاثة أنواع من التدفق متر (أوري فيس ، أتوربين و التراسون) من خلال simulink/matlab

الكلمات المفتاحية : مقياس التدفق في صناعة الغاز نمذجة ومحاكاة التدفق.

.