

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun de Tiaret

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique



PROJET DE FIN DE CYCLE

MASTER

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie Mécanique

Parcours : Master

Spécialité : Énergétique

Thème

**Réalisation d'un banc didactique avec
chaîne d'acquisition des grandeurs
fluidiques (débit volumique et pression)**

Préparé par :

AMEUR MANSOUR Yassine et **KORICHI** Madiha

Soutenu publiquement le : 20 / 06 / 2022, devant le jury composé de :

M. SAD CHEMLOUL N	Professeur	(Univ. Ibn Khaldoun)	Président
M. AKERMI N	Maître de Conférences "B"	(Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M. BOUREGUIG K	Maître de Conférences "B"	(Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M. BELMILOUD M.A	Maître de Conférences "B"	(Univ. Ibn Khaldoun)	Encadrant
M. BEY Mohamed	Maître de Conférences "B"	(Univ. Ibn Khaldoun)	Invité

Année universitaire : 2021 - 2022

Remerciements

Tout d'abord nous remercions le Dieu, notre créateur de nous avoir donné le courage et la volonté pour terminer ce travail.

Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à notre encadreur Monsieur BELMILOUD Mohamed Amine pour son aide précieuse, sa confiance, ses encouragements, sa patience et son soutien favorable pour l'aboutissement de ce travail.

Nous sommes très heureux d'avoir pu travailler avec Monsieur BEY Mohamed, en particulier, pour ces nombreux conseils liés à la programmation et la mise en œuvre.

Nos remerciements vont aux Enseignants qui ont pris le soin d'examiner le travail présenté dans ce mémoire.

Nous remercions également l'ensemble des membres du Jury Messieurs SAD CHEMLOUL Nord-eddine, BOUREGUIG Kada et AKERMI Nasreddine pour avoir examiné notre travail.

Nous tenons à présenter nos vifs remerciements aux personnes qui ont contribué à la préparation de ce mémoire.

Dédicaces

C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail aux
Personnes les plus chères au monde, mes chers parents pour leurs amours
Et bonté et que sans eux je n'aurai jamais pu atteindre mon objectif, que

Dieu me les garde

À...

Mes parents

Mes sœurs

Mes frères

à tous Mes amis

Tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans

L'accomplissement de ce travail.

YASSINE - MADIHA

Table des matières

	Page
Remerciements.....	i
Dédicaces.....	ii
Table des matières.....	iii
Liste des figures.....	v
Liste des tableaux.....	vii
Nomenclature.....	viii
Introduction générale.....	2
Chapitre 01 : Techniques de la mesure	
1.1 Introduction.....	4
1.2 La pression.....	4
1.2.1 Pression d'un fluide.....	4
1.2.2 Différentes pressions.....	5
1.2.3 Appareils de mesure de pression.....	7
1.3 Le débit.....	7
1.3.1 Différents types de débits.....	7
1.4 Débitmètres dans l'industrie.....	8
1.4.1 Débitmètres volumétrique.....	9
1.4.2 Débitmètres massiques.....	17
Chapitre 02 : Notions sur la mécanique des fluides	
2.1 Introduction.....	21
2.2 Définition d'un fluide.....	21
2.3 Forces dans un fluide.....	22
2.3.1 Forces intérieures.....	22
2.3.2 Forces extérieures.....	22
2.4 Écoulement d'un fluide.....	22
2.4.1 Fluide parfait.....	22
2.4.2 Fluide réel.....	23
2.5 Propriétés des fluides.....	23
2.5.1 Masse volumique.....	23
2.5.2 Poids volumique (poids spécifique).....	24
2.5.3 Densité.....	24
2.5.4 Viscosité.....	24

2.6 Régimes d'écoulement.....	25
2.6.1 Le régime laminaire.....	26
2.6.2 Le régime de transition.....	26
2.6.3 Le régime turbulent.....	27
2.7 Théorème de Bernoulli.....	27
2.7.1 Perte de charge linéaire ou régulière.....	27
2.7.2 Perte de charge singulière.....	30

Chapitre 03 : Conception et réalisation du banc

3.1 Introduction.....	37
3.2 Conception du banc.....	37
3.2.1 Processus de fonctionnement du banc.....	37
3.2.2 Etude de la Mécanique des fluides appliquée.....	39
3.3 Réalisation du banc.....	40
3.3.1 Partie électronique.....	40
3.3.2 Partie Puissance.....	43
3.3.3 Quincaillerie.....	45
3.4 Etape de réalisation.....	46
3.4.1 Soudure de porteur du banc.....	46
3.4.2 Installation de la tuyauterie et des réservoirs du banc.....	46
3.4.3 Installation de la pompe et des capteurs.....	46
3.4.4 Ecrire le programme de contrôle.....	46
3.4.5 Etalonnage des capteurs.....	47
3.4.6 le travail final.....	47
3.5 Essai pratique.....	48
3.5.1 Cas niveau d'eau $h > 0,5$ l.....	49
3.5.2 Cas niveau d'eau $h < 0,5$ l.....	50
3.5.3 Débit volumique et la vitesse.....	50
3.5.4 La viscosité et la masse volumique.....	50
3.5.5 Caractérisation de nombre de Reynolds.....	51
3.6 Résultats et discussions.....	55
3.7 Conclusion.....	56
Conclusion générale.....	58
Liste de références.....	60
Résumé	

Nomenclature

Symbole	Définition	Unité
D	Densité	[-]
D	Le diamètre	[m]
F	La force	[N]
g	Accélération de gravité	[m / s ²]
h	La hauteur de remplissage de petit réservoir	[m]
H	La hauteur de remplissage de grand réservoir	[m]
ΔH	Perte de charge	[m]
K	Coefficient de perte de charge singulière	[-]
L	La longueur de la conduite	[m]
M	La masse de fluide	[Kg]
P	Pression	[N/m ²]
ΔP	Perte de pression	[N/m ²]
Q_m	Débit massique	[kg/s]
Q_v	Débit volumique	[m ³ /s]
Re	Nombre de Reynolds	[-]
dS	La surface élémentaire	[m ²]
S	La surface	[m ²]
T	Temps	[s]
T	Température	[°C]
V	Volume de fluide	[m ³]
V	Vitesse d'écoulement	[m/s]
ΔV	Ecart de vitesse entre deux couches	[m / s]
Z	La côte	[m]
Δz	Distance entre deux couches	[m]

Symboles grecs

ρ	Masse volumique	[Kg/m ³]
ρ_{ref}	Masse volumique d'un fluide de référence	[Kg/m ³]
ν	Viscosité cinématique	[m ² /s]
λ	Conductivité thermique	[W/m.°C]
μ	Viscosité dynamique	[kg/m.s]

$\bar{\omega}$	Poids spécifique du liquide	[N/m ³]
θ	Angle vif au centre du coude	[°]
α	Angle	[°]
ε	Rugosité absolu	[m]
ε / D	Rugosité relative	[-]

Indices et exposants

D	Dynamique
L	Linéaire
St	Statique
S	Singulière
D	Dynamique
T	Totale

Abréviations

MDF	Mécanique Des Fluides
UC	Unité de Contrôle
STEP	Station de Transfert d'Energie par Pompage
GND	Ground
VCC	Voltage Common Cathode
LCD	Liquid Crystal Display
PVC	Poly Vinyl Chloride
Torr	Evangelista Torricelli
Psi	Pound per square inch

Liste des figures et des tableaux

Liste des figures

	Page
Figure 1.1 : la pression atmosphérique	5
Figure 1.2 : les différents types de pression.....	6
Figure 1.3 : les différents appareils de mesure de la pression.....	7
Figure 1.4 : les différents débitmètres utilisés dans l'industrie.....	9
Figure 1.5 : schéma du tube de venturi.....	10
Figure 1.6 : tube de Pitot.....	11
Figure 1.7 : schéma du tube Pitot-statique.....	12
Figure 1.8 : Principe de mesure du débit par un diaphragme, et répartition de la pression au voisinage du diaphragme.....	13
Figure 1.9 : schéma d'un débitmètre ultrasons.....	13
Figure 1.10 : Principe de fonctionnement d'un débitmètre ultrasonique.....	14
Figure 1.11 : Principe de fonctionnement d'un débitmètre à effet Doppler.....	14
Figure 1.12 : débitmètre à turbine.....	15
Figure 1.13 : débitmètre à l'effet vortex.....	16
Figure 1.14 : débitmètre à section variable (rotamètre).....	17
Figure 1.15 : principe de fonctionnement d'un débitmètre électromagnétique de Faraday	18
Figure 1.16 : débitmètre à effet CORIOLIS.....	18
Figure 1.17 : débitmètre massique thermique.....	19
Figure 2.1 : Représentation idéalisée des trois états de la matière.....	21
Figure 2.2 : Représentation de la force d'interaction au niveau de la surface élémentaire	23
Figure 2.3 : Variation du profil de vitesses dans le film fluide.....	25
Figure 2.4 : Installation expérimentale de Reynolds.....	26
Figure 2.5 : Filet du colorant rectiligne indiquant le régime laminaire.....	26
Figure 2.6 : Filet du colorant sinusoïdal indiquent le régime transitoire.....	26
Figure 2.7 : Filet du colorant éclaté indiquant le régime turbulent.....	27
Figure 2.8 : Diagramme de Moody.....	29
Figure 2.9 : caractéristiques géométriques d'un coude arrondi.....	30
Figure 2.10 : caractéristique géométriques d'un coude à angle vif.....	31
Figure 2.11 : Caractéristiques d'un élargissement brusque.....	31
Figure 2.12 : Caractéristiques d'un rétrécissement brusque.....	32
Figure 2.13 : Diminution progressive de la section (convergente).....	32
Figure 2.14 : Augmentation progressive de la section (divergente).....	32

Figure 2.15 : Vanne opercule.....	33
Figure 2.16 : Vanne à papillon.....	34
Figure 2.17 : Robinet à boisseau.....	34
Figure 2.18 : Clapet à battant.....	35
Figure 3.1 : Schéma de fonctionnement d'une STEP.....	37
Figure 3.2 : Schéma synoptique du processus du banc.....	38
Figure 3.3 : Processus de remplissage automatique.....	39
Figure 3.5 : Carte Arduino UNO.....	40
Figure 3.6 : Logiciel Arduino IDE.....	41
Figure 3.7 : Capteur de débit d'eau YF-S401.....	42
Figure 3.8 : Capteur de température DS18B20.....	42
Figure 3.9 : Capteur de niveau d'eau.....	43
Figure 3.10 : Afficheur LCD.....	43
Figure 3.11 : Pompe de vidange de machine à laver.....	44
Figure 3.12 : Module relais 5V-220V.....	44
Figure 3.13 : Seau plastique 3 litres.....	45
Figure 3.14 : Seau plastique 10 litres.....	45
Figure 3.15 : Tuyaux utilisé dans l'installation.....	46
Figure 3.16 : Code téléversé.....	47
Figure 3.17 : Banc final.....	48
Figure 3.18 : Démarrage du banc (remplissage auto).....	49
Figure 3.19 : Cas niveau d'eau haut (décharge d'eau).....	49
Figure 3.20 : Cas niveau d'eau haut (pompe arrêt).....	49
Figure 3.21 : Cas niveau bas remplissage d'eau.....	50
Figure 3.22 : Débit et vitesse d'eau.....	50
Figure 3.23 : Viscosité et la masse volumique.....	51
Figure 3.24 : Nombre de Reynolds.....	51
Figure 3.25 : Régime de l'écoulement.....	52
Figure 3.26 : Variation du débit volumique Q_v en fonction de la hauteur de remplissage dans le grand réservoir H.....	53
Figure 3.27 : Variation du nombre de Reynolds Re en fonction de la hauteur de remplissage de grand réservoir H.....	53
Figure 3.28 : Variation du débit volumique Q_v en fonction de la position de l'ouverture de robinet à boisseau.....	54
Figure 3.29 : Variation du nombre de Reynolds Re en fonction de la position de	55

l'ouverture robinet à boisseau.....	
Figure 3.30 : Variation de la pression dynamique en fonction du débit volumique Q_v	55

Liste des tableaux

	Page
Tableau 1.1 : les différentes unités de pression et leur conversion.....	4
Tableau 2.1 : Valeurs du coefficient K de la perte de charge singulière en fonction de l'ouverture de la vanne (opercule).....	33
Tableau 2.2 : Valeurs du coefficient K de la perte de charge singulière en fonction de l'angle d'ouverture de la vanne (à papillon).....	34
Tableau 2.3 : Valeurs du coefficient K de la perte de charge singulière en fonction de l'angle d'ouverture de la vanne (à boisseau).....	34
Tableau 2.4 : Valeurs du coefficient K de la perte de charge singulière en fonction de l'angle d'ouverture du clapet à battant.....	35
Tableau 3.2 : la variation de la masse volumique et de la viscosité dynamique en fonction de la température.....	51
Tableau 3.2 : les valeurs du débit volumique, la vitesse et le nombre affichés pour chaque hauteur de remplissage dans le grand réservoir H.....	52
Tableau 3.3 : les valeurs du débit volumique, la vitesse et le nombre Re en fonction de la position de l'ouverture de robinet à boisseau.....	54
Tableau 3.4 : les valeurs de la pression dynamique pour les différentes du débit volumique	55

Introduction générale

Les Problèmes liés à la mécanique des fluides sont rencontrés dans différentes situations naturelles et industrielles parmi lesquelles on peut citer certaines disciplines relevant de ce domaine tels : la météorologie, l'océanographie, l'hydraulique, la biomécanique, l'aéronautique etc...

De par son appellation, ressort les termes mécanique et fluide. La mécanique des fluides est alors l'étude des lois régissant le repos ou le mouvement des fluides, elle est basée essentiellement sur l'application des lois classiques de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie appliquées aux fluides

L'un des buts de la mécanique des fluides est de définir les champs de vitesse et de pression ainsi que la position des particules matérielles à tout moment, en rapport avec les moyens de mesure vus à l'échelle de la particule fluide et non de la molécule. Il est alors primordial de définir et de connaître le type de forces mises en jeu. [1]

Le transport des fluides industriel dans les conduites et les mesures de leurs débits et pression nécessaires pour la plupart des opérations de la production et de la commercialisation.

Dans notre travail nous pensés à réaliser un banc didactique avec chaine d'acquisition des grandeurs fluidiques (pression et débit volumique).

Ce travail est composé de 3 chapitres qui sont :

L'objectif de premier chapitre est de mentionner les techniques de la mesure de pression et débit volumique les plus utilisée dans l'industrie.

Après, nous avons passés au deuxième chapitre représente une généralité sur la mécanique des fluides qui étudie les différentes notions fluidiques.

Dans le troisième chapitre on a expliqué les étapes conception de banc didactique avec chaine d'acquisition et les dimensions réelles de chaque composante de banc et représente la méthode de réalisation de banc et le montage des composantes et à la fin nous obtenons la forme finale de l'appareil

Enfin la partie expérimentale de notre étude est présenté l'affichage des différentes grandeur fluidique (débit, pression, Température, nombre de Reynolds et le Régime d'écoulement) et la détermination des performances de notre appareil.

A la fin, nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre 1 :
Techniques de la
mesure

1.1 Introduction

La métrologie est la science des mesures et de ses applications. Elle comprend tous les aspects théoriques et pratiques des mesurages, quels que soient l'incertitude de mesure et le domaine d'application.

Dans ce chapitre, nous décrivons les appareils couramment utilisés pour la mesure de paramètres physiques et l'émission des signaux correspondants. Nous intéressons à deux paramètres : la pression, et le débit.

1.2 La pression

1.2.1 Pression d'un fluide [2]

En un point donné, un fluide transmet la pression, avec la même intensité, dans toutes les directions, le vecteur pression est normal à tout plan passant par ce point. Dans un liquide, l'intensité de la pression est la même en tout point d'un plan horizontal. On mesure les pressions à l'aide de manomètres de différentes formes. Sauf mention contraire, Les pressions manométriques ont des valeurs supérieures ou inférieures à la pression atmosphérique. La pression se définit comme le quotient d'une force par une surface :

$$P = \frac{F}{S} \tag{1.1}$$

L'unité légale (SI) de pression est le Pascal Pa.

Autres unités :

	Pascal	Bar	Atmosphère technique	Atmosphère Normale	Torr	Livre par pouce carré
	Pa	Bar	At	Atm	Torr	Psi
1 Pa	≡ 1N/ m ²	10 ⁻⁵	1,0197 10 ⁻⁵	9,8692 10 ⁻⁶	7,50 10 ⁻³	1,450377 10 ⁻⁴
1bar	10 ⁵	1	1,0197	0,98692	750.06	14.50377
1at	0,980665 10 ⁵	0,980665	1 Kp/cm ²	0,9678	735,5592	14,22334
1atm	1,01325 10 ⁵	1,01325	1,0332	≡ p ₀	≡ 760	14,69595
1Torr	133,3224	1,333224 10 ⁻³	1,359551 10 ⁻³	1,315789 10 ⁻³	=1 mmHg	1,933678 10 ⁻²
1psi	6,8948 10 ³	6,8948 10 ⁻²	7,0307 10 ⁻²	6,8046 10 ⁻²	51,71793	≡ Ib/po ²

Tableau 1.1 : les différentes unités de pression et leur conversion. [3]

1.2.2 Différentes pressions

1.2.2.1 Pression atmosphérique

Est la force exercée par l'atmosphère sur une unité de surface de la terre. À un endroit précis, la force de pression est égale à la force exercée par une colonne d'air, de surface unitaire, partant du sol et allant jusqu'au sommet de l'atmosphère. La pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer, à 15 °C, est d'environ 1013 mbar. Elle peut varier avec la pluie ou le beau temps. Elle est fonction de l'altitude (hydrostatique). [4]

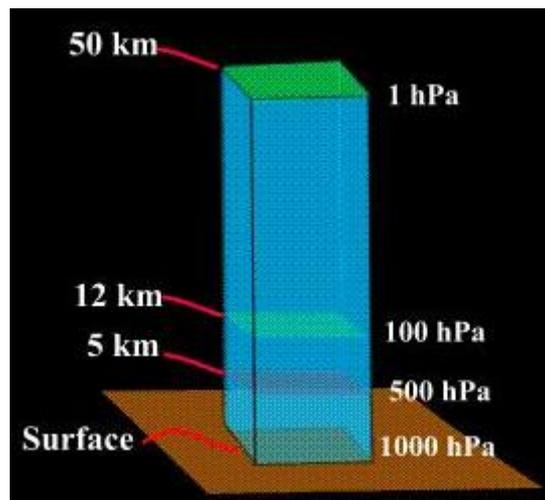


Figure 1.1 : la pression atmosphérique [4]

1.2.2.2 Pression relative, manométrique ou relative

Est la différence de pression par rapport à la pression atmosphérique. Elle est le plus souvent utilisée, car la plupart des capteurs, sont soumis à la pression atmosphérique. [4]

1.2.2.3 Pression absolue

Est la pression mesurée par rapport au vide parfait.

Le vide : Il correspond théoriquement à une pression absolue nulle. Il ne peut être atteint, ni dépassé. Quand on s'en approche, on parle alors de vide poussé. [4]

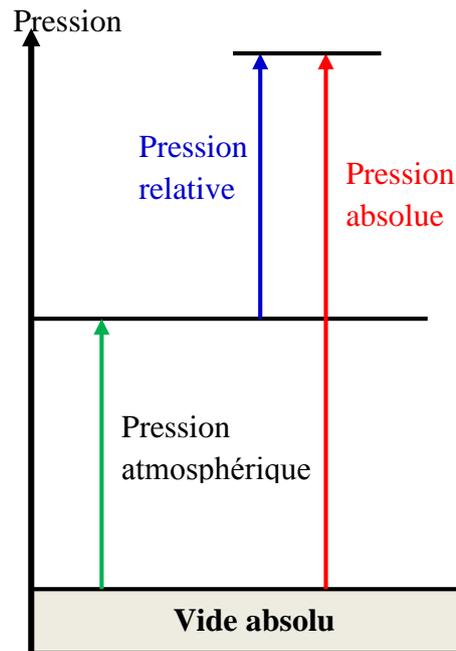


Figure 1.2 : les différents types de pression [4]

1.2.2.4 Pression dynamique [5]

Elle correspond à la force requise pour accélérer la masse d'un fluide depuis l'état de repos jusqu'à une vitesse donnée. Elle ne s'exerce que dans la direction de l'écoulement du fluide, elle est toujours positive et elle est généralement notée (P_d).

$$P_d = \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \quad (1.2)$$

1.2.2.5 Pression statique [5]

C'est la pression que l'air exerce sur un élément de paroi perpendiculairement à la direction de l'écoulement. Cette pression peut être soit supérieure, soit inférieure à la pression atmosphérique et elle est généralement notée (P_{st}).

$$P_{st} = \rho \cdot g \cdot H \quad (1.3)$$

1.2.2.6 Pression totale [6]

C'est la somme des pressions statique et dynamique. Elle est généralement notée (P_t).

$$P_t = P_d + P_{st} \quad (1.4)$$

1.2.3 Appareils de mesure de pression [6]

Par appareil de mesure de pression, on entend un instrument pour la mesure de la pression dans les gaz et les liquides. Ici, nous distinguons les instruments de mesure mécaniques (manomètres), électroniques et mécatroniques. WIKA a plus de 60 ans d'expérience dans la fabrication d'instruments de mesure de pression. Profitez de notre savoir-faire et trouvez le bon instrument de mesure de la pression pour vos besoins de mesure :

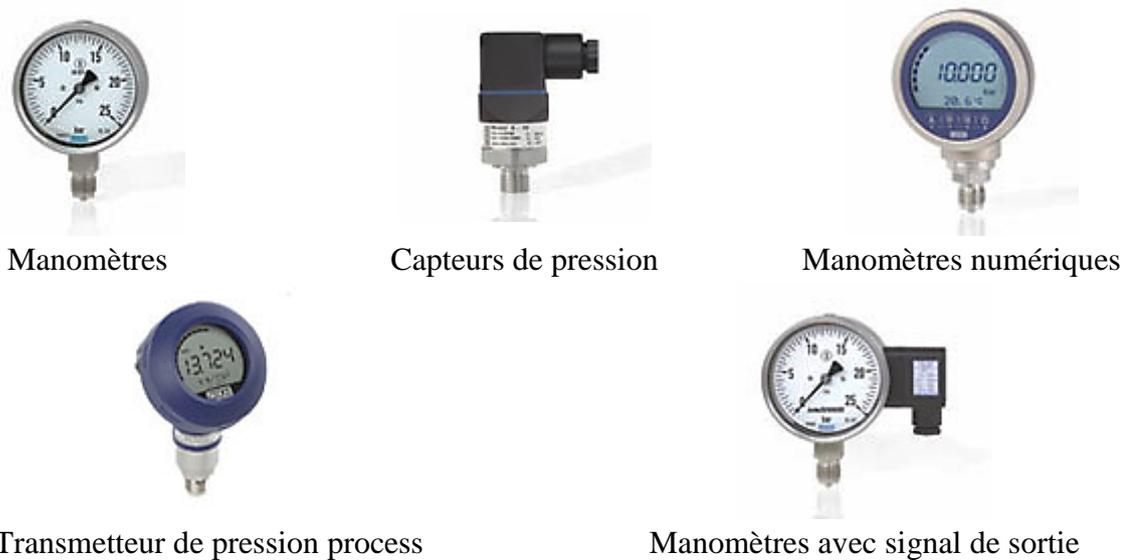


Figure 1.3 : les différents appareils de mesure de la pression [6]

1.3 Le débit

La mesure de débit de fluide industriel a une grande importance, en raison de la présence de ces derniers dans les opérations de commercialisation des produits soit en liquide ou en état gazeux. Pour assurer le transport et la distribution de ces fluides sans grande perte, des appareils de mesure de débit sont nécessaires afin de minimiser ces pertes. [7]

1.3.1 Différents types de débits [8]

1.3.1.1 Débit volumique

Le débit volumique est la quantité de fluide qui traverse une conduite par unité de volume. Si v est le volume de fluide qui a traversé une section droite de la conduite pendant le temps par définition le débit-volumique est :

$$Q_v = \frac{\text{volume}}{\text{temps}} = \frac{v}{t} \quad (1.5)$$

D'autre part, le débit volumique d'un liquide ou d'un gaz est la quantité qui s'écoule à travers une section transversale donnée de la conduite par unité de temps. Le débit volumique s'exprime par la formule :

$$Q_v = \iint_S \mathbf{V} \cdot d\mathbf{S} \quad (1.6)$$

1.3.1.2 Débit massique

C'est la masse de fluide qui traverse une section droite de la conduite pendant un certain temps, il s'exprime en fonction de débit Q_v et de masse volumique par la relation suivante :

$$Q_m = \rho \cdot Q_v \quad (1.7)$$

1.4 Débitmètres dans l'industrie [7]

Depuis l'apparition des premiers débitmètres et, avec le développement de l'industrie gazière, ceux-ci n'ont cessé d'évoluer. Les volumes échangés sont en constante augmentation et la qualité du comptage prend de plus en plus d'importance. Une grande diversité des moyens de comptage existe. En électronique, les progrès réalisés et la miniaturisation ont permis le développement de nouveaux moyens de comptage ou l'évolution des moyens existants. Cette diversité doit permettre l'utilisation d'un débitmètre bien adapté aux besoins et aux conditions d'utilisation. Les principales familles de débitmètre sont :

- Les débitmètres volumétriques : auxquels on peut ajouter les débitmètres fluidiques : le volume de gaz qui les traverse est mesuré par remplissage cyclique de capacités de contenance déterminée.
- Les débitmètres massiques.

La figure suivante présente la répartition des différents types de débitmètres dans l'industrie :

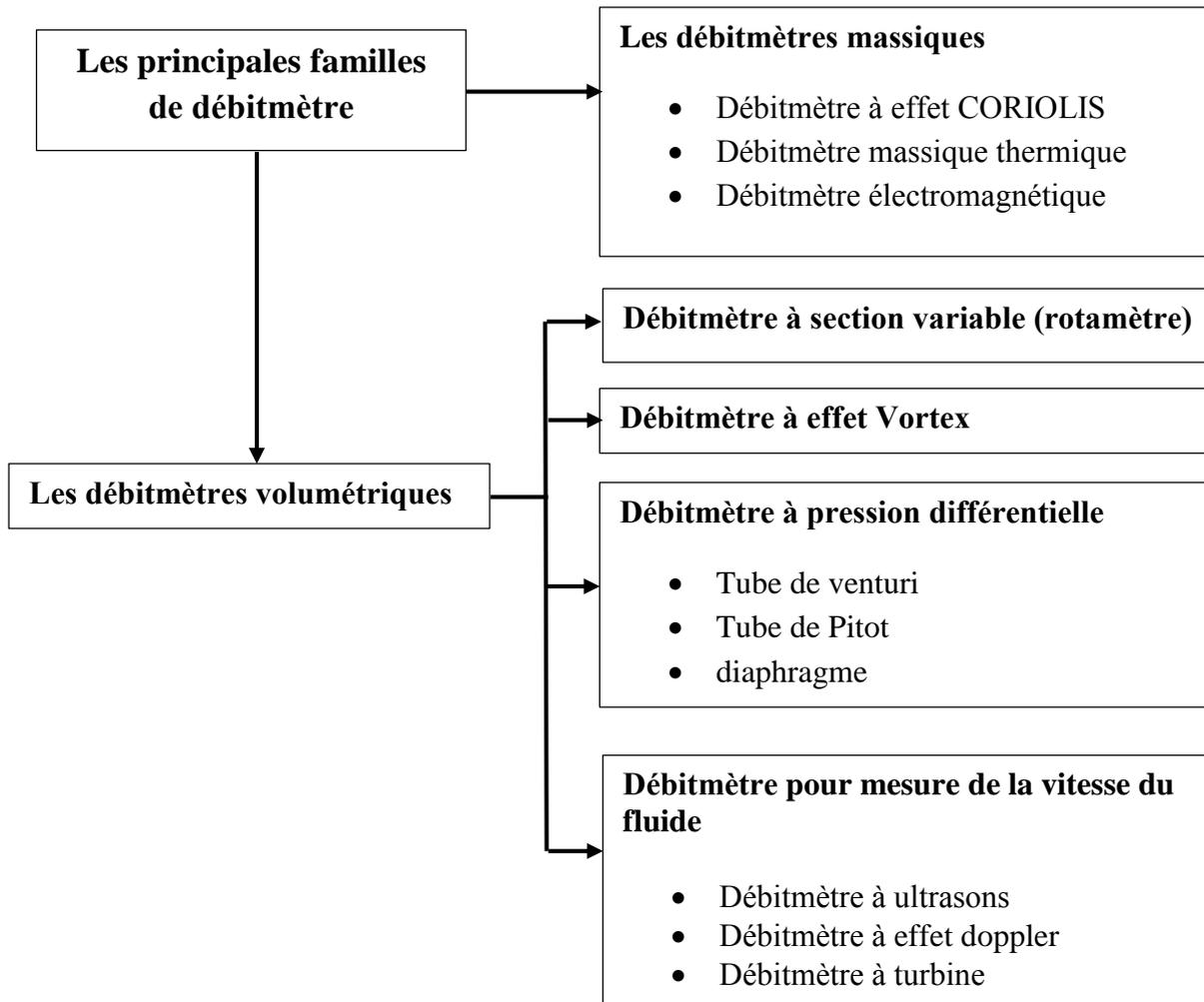


Figure 1.4 : les différents débitmètres utilisés dans l'industrie

1.4.1 Débitmètres volumétrique

1.4.1.1 Débitmètre à pression différentielle

1.4.1.1.1 Tube de venturi

Dans les domaines scientifiques et industriels, les tubes Venturis sont souvent utilisés pour mesurer le débit d'un fluide en écoulement. Pour ce faire, les manomètres sont attachés à différentes sections du tube pour mesurer la pression. L'effet Venturi peut ensuite être utilisé pour calculer le taux à partir de ces différences de pression mesurées. La différence de pression décrite par l'effet Venturi est utilisée dans de nombreux dispositifs différents. Les tubes de Venturi disposent d'un centre étroit et d'extrémités plus larges et, comme nous le verrons ensuite, ils peuvent être utilisés dans une variété d'applications. [7]

Le tube de venturi est un tube convergent-divergent muni de prise de pression statique, l'un en amont du convergent, l'autre au niveau du col (voir figure).

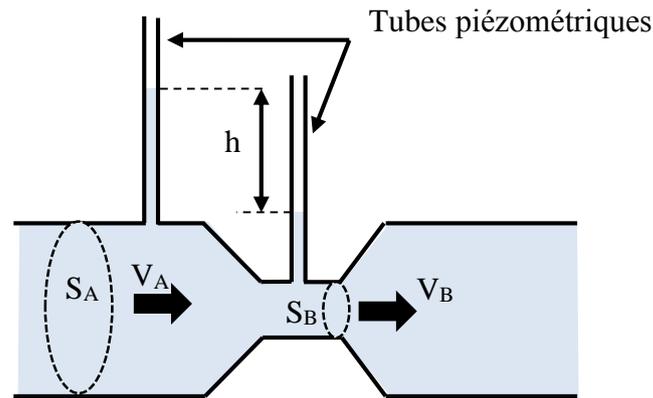


Figure 1.5 : schéma du tube de venturi

Ce tube est intercalé dans une tuyauterie dont on veut mesurer le débit. De l'eau (fluide parfait incompressible) s'écoule dans le venturi et on appelle h la dénivellation dans les tubes indiquant la pression. Les vitesses dans S_1 et S_2 sont uniformes. . [9]

Domaine d'utilisation : L'effet venturi peut être utilisé pour créer une dépression et ainsi réaliser une aspiration. Ceci est utilisé par exemple :

- Dans les carburateurs des moteurs à combustion interne ;
- Pour diminuer la force de portance et améliorer l'appui aérodynamique pour une voiture de Formule 1 ;
- Sur certains casques haut de gamme, les fabricants utilisent l'effet venturi pour accélérer la circulation de l'air à l'intérieur du casque et son extraction. Cela permet de rafraîchir plus efficacement le pilote et de désembuer la visière ;
- Dans certains détendeurs de plongée sous-marine, le flux d'air moyen pression injecté dans le deuxième étage est orienté de telle manière qu'il participe à l'aspiration de la membrane. Cette membrane appuyant sur le levier qui provoque l'injection d'air, l'effet Venturi réduit alors l'effort inspiratoire ;
- Sur certaines cheminées, pour améliorer le tirage ;
- Pour mélanger des liquides (un liquide mis en dépression aspire l'autre liquide et permet le mélange), par exemple le mélangeur d'émulseur et d'eau des lances à mousse des sapeurs-pompiers ;
- Un venturi (convergent + divergent) permet de limiter le débit à un seuil déterminé et ce quelle que soit la pression amont sur une canalisation ;
- Pour réaliser des pompes à vide de faible puissance, comme les trompes à eau montées sur les robinet des paillasse de chimie, ou bien les aspirateurs de mucosité branchés sur les détendeurs des bouteilles de dioxygène médical ;

- Comme appareil de mesure de débit, basé sur la chute de pression au niveau du venturi ;
- Dans les pistolets à peintures, alimentés par le biais d'une turbine basse pression ou d'un compresseur ;
- Pour administrer dans les alvéoles pulmonaires des médicaments au travers d'aérosols liquides (principe de l'aérosolthérapie, venturi pneumatique) ;
- Certains pommeaux de douche à économie d'eau (50 %), mitigeurs sur robinetterie ;
- Pour la pré-admission d'entrée d'air nécessaire au fonctionnement d'une turbine à gaz dans la propulsion notamment des rames à turbine à gaz ;
- Pour la gazéification de liquides (jus de pomme, eau, cidre...) ;
- Pour l'injection d'ozone gazeux dans de l'eau ;
- En sonorisation (chambres de compression) ;
- Pour vider l'eau à travers une trappe (vide-vite) située dans le fond d'embarcations Légères (dériveurs, bateaux pneumatiques). [10]

1.4.1.1.2 Tube de Pitot

Un tube de Pitot, en hydrologie, qualifie un tube coudé à angle droit dont l'extrémité est ouverte et orientée vers l'amont quand on le plonge dans un courant. La vitesse peut être déduite de la différence mesurée entre la charge statique et la charge dynamique. [13]



Figure 1.6 : tube de Pitot [11]

Un tube de Pitot-statique ou tube de Prandtl (ou antenne de Prandtl) est constitué de deux tubes coudés concentriques dont les orifices, en communication avec le fluide dont on veut mesurer la vitesse, sont disposés de façon particulière :

- Le tube extérieur s'ouvre perpendiculairement à l'écoulement du fluide. La pression à l'intérieur de ce tube est donc égale à la pression ambiante ou pression statique.

Le tube intérieur est parallèle à l'écoulement du fluide, et est ouvert en son bout, face au flux. La pression à l'intérieur de celui-ci est donc la pression totale P_t , somme de la pression statique P_s et de la pression dynamique P_d . [12]

•

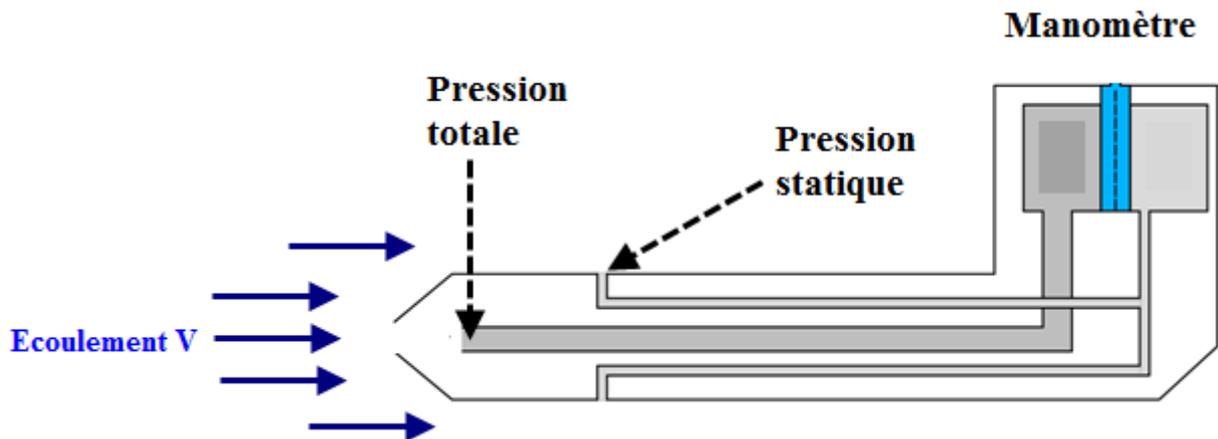


Figure 1.7 : schéma du tube Pitot-statique [14]

Domaine d'utilisation : Les tubes de Pitot sont utilisés dans des domaines différents, on peut citer quelques exemples :

- dans les systèmes de loch utilisé sur les navires ;
- dans le domaine aéronautique, le système Pitot-statique est utilisé pour les appareils dont la vitesse est très inférieure à la vitesse du son à leur altitude ;
- dans l'automobile, dans les cas où la vitesse ne peut pas être déduite uniquement de la vitesse de rotation des pneus ;
- Dans l'anémomètre, pour application à la météorologie. [14]

1.4.1.1.3 Diaphragme

Un diaphragme est une plaque rigide de faible épaisseur et percée d'un orifice. Cette plaque s'introduit dans la canalisation perpendiculairement au sens d'écoulement. Le liquide dont le débit est constant voit obligatoirement sa vitesse augmenter au passage de l'orifice. Dans le même temps on observe une variation opposée de la pression, c'est-à-dire une chute de la pression statique au niveau de l'orifice.

Des prises de pression installées de part et d'autre du diaphragme permettent la mesure de la différence de pression statique.

Cette mesure permet d'en déduire directement le débit volumique instantané. Il est à noter que cette chute de pression localisée au niveau du diaphragme n'est pas une perte d'énergie (perte de charge) mais un transfert d'énergie « de pression » en énergie « de vitesse ». [15]

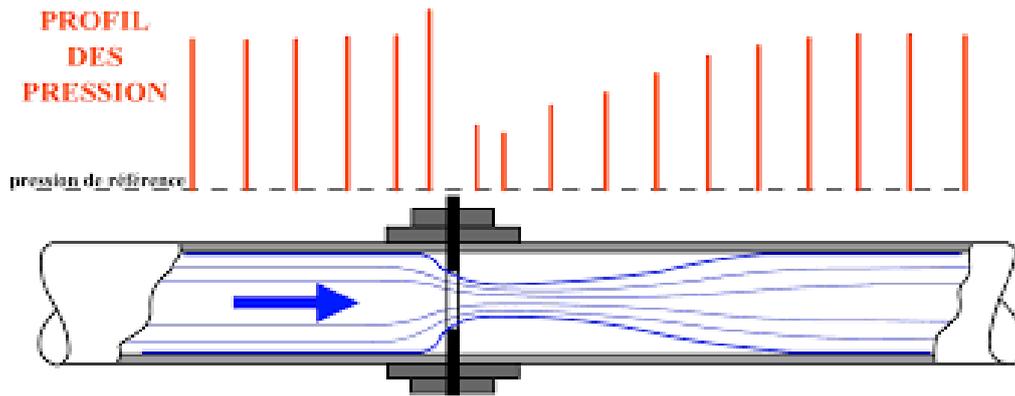


Figure 1.8: Principe de mesure du débit par un diaphragme, et répartition de la pression au voisinage du diaphragme. [15]

1.4.1.2 Débitmètre pour la mesure de la vitesse du fluide

1.4.1.2.1 Débitmètre 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. [16]

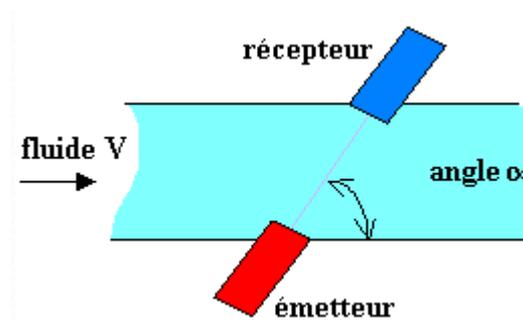


Figure 1.9: schéma d'un débitmètre ultrasons [16]

Le principe repose sur l'utilisation d'ondes acoustiques pour la mesure de la vitesse de l'écoulement. Un émetteur ultrasonique émet des trains d'ondes qui traversent le fluide à mesurer vers un récepteur placé diamétralement opposé à l'émetteur (Figure 1. 10). [17]

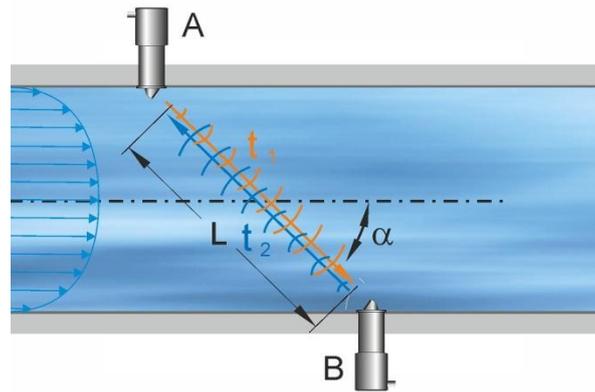


Figure 1.10 : Principe de fonctionnement d'un débitmètre ultrasonique

Domaine d'utilisation : L'utilisation du débitmètre ultrasonique à temps de parcours s'applique aux liquides monophasiques conducteurs acoustiquement, c'est-à-dire qui sont en mesure de transmettre les ultrasons. C'est le cas de la plupart des liquides propres et des liquides comportant de petites quantités de matières en suspension ou de bulles de gaz.

L'utilisation de ce débitmètre n'est pas restreinte par la conductivité de l'eau. Il est toutefois sensible à la qualité de l'eau, et le fluide ne doit pas contenir une concentration importante de bulles ou de solides. Dans le cas contraire, le son à haute fréquence sera atténué et ne pourra pas traverser la conduite.[18]

1.4.1.2.2 Débitmètre à effet Doppler [19]

Il utilise lui aussi deux éléments transducteurs, mais montés tous deux dans un même boîtier, d'un des deux côtés de la conduite. Une onde ultrasonore de fréquence constante est émise dans le fluide par l'élément émetteur, les solides ou bulles présents dans les fluides réfléchissent le son, le renvoyant à l'élément récepteur avec un glissement de fréquence. La variation de fréquence est proportionnelle à la vitesse moyenne du fluide.

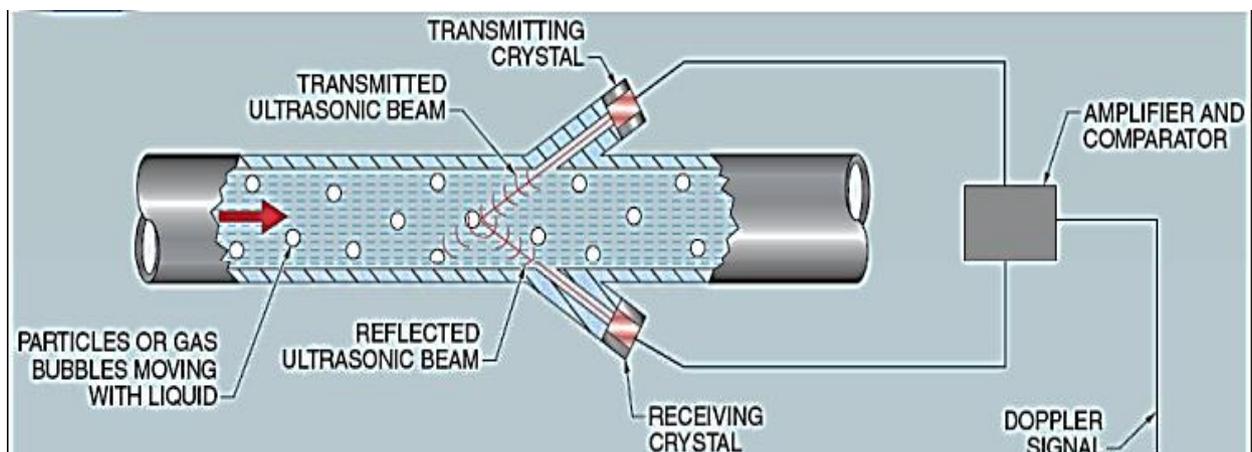


Figure 1.11 : Principe de fonctionnement d'un débitmètre à effet Doppler

Domaine d'utilisation : exige la présence de gaz ou de solides en suspension dans l'écoulement pour fonctionner correctement.

1.4.1.2.3 Débitmètre à turbine [16]

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.

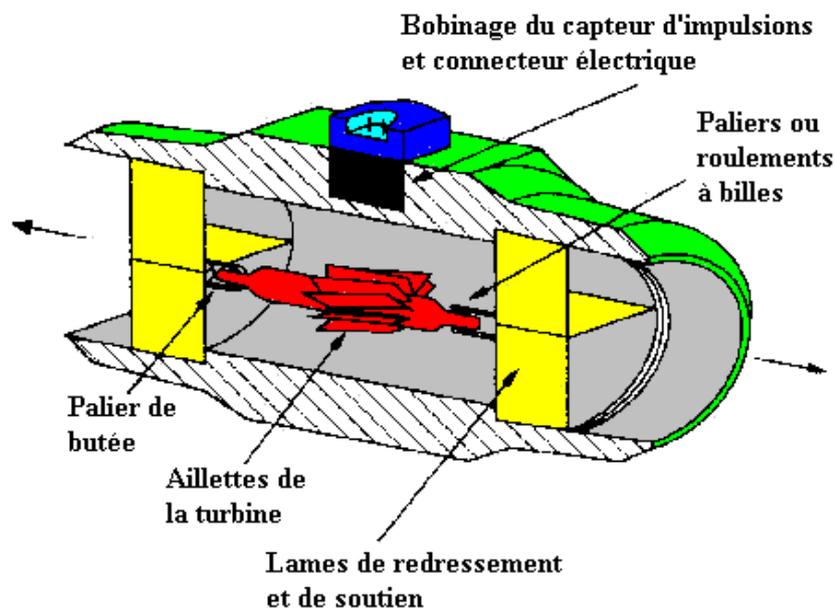


Figure 1.12 : débitmètre à turbine

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...)

1.4.1.3 Débitmètre à effet vortex [16]

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.

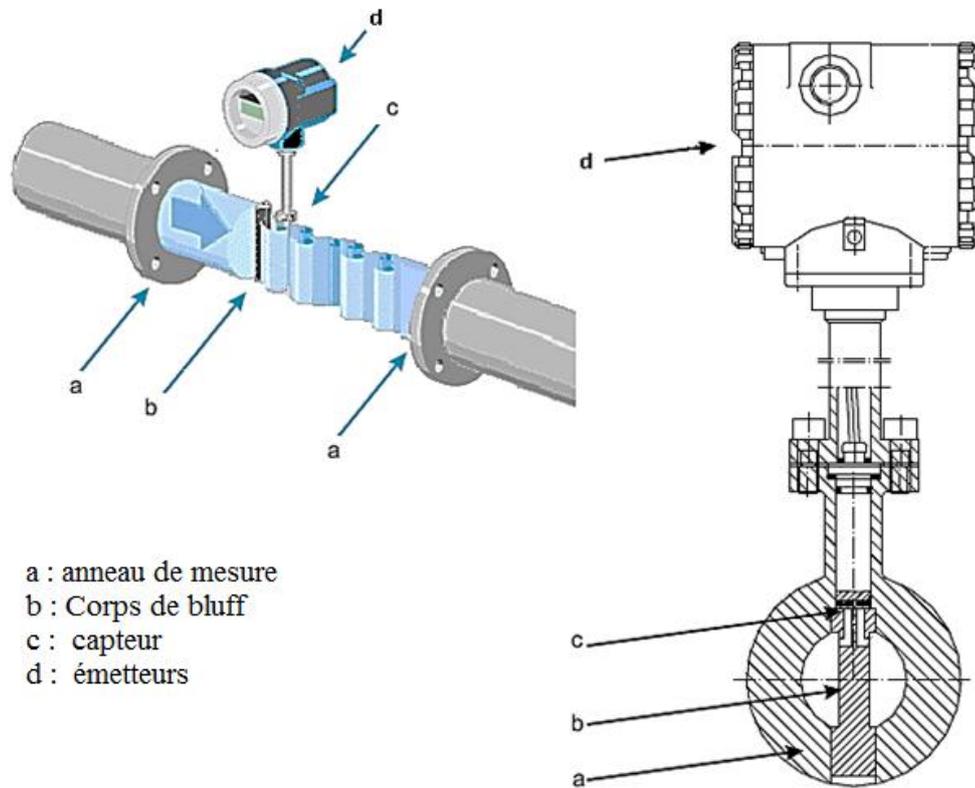


Figure 1.13 : débitmètre à l'effet vortex

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

1.4.1.4 Débitmètre à section variable (rotamètre) [20]

Le rotamètre est un équipement simple composé d'un tube conique et d'un flotteur. Le flotteur est placé à l'intérieur du tube et généralement des filets sont placés aux deux extrémités du tube. Cet agencement peut être connecté à une conduite avec des raccords à brides. Les rotamètres sont toujours installés verticalement dans les canalisations. Une échelle est marquée sur le tube pour lire directement les valeurs de débit.

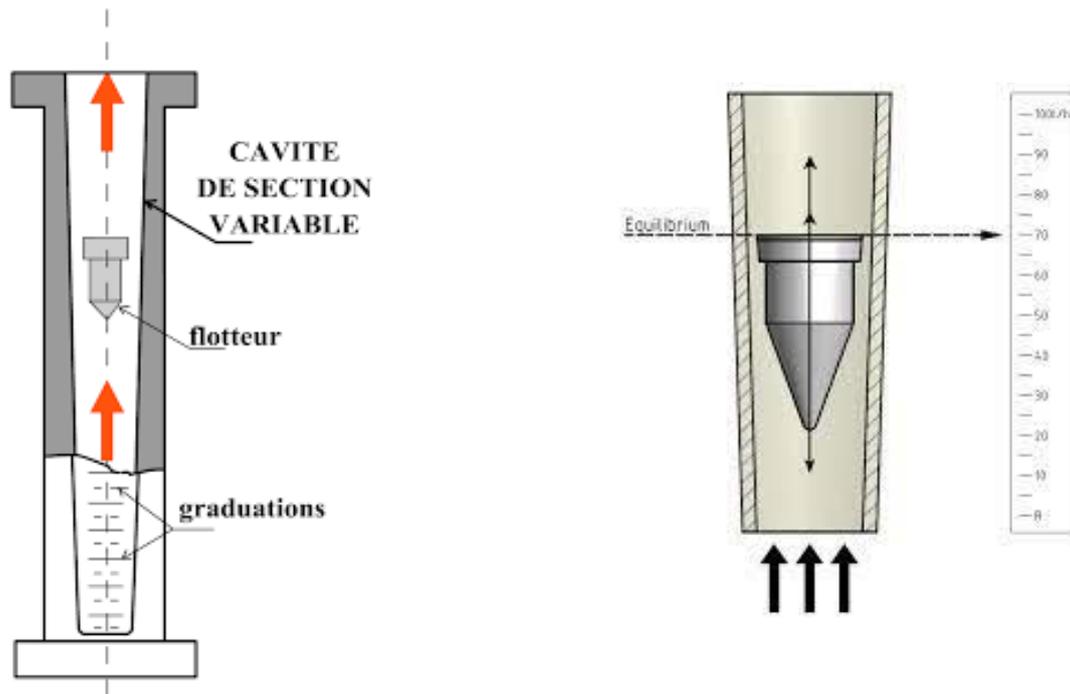


Figure 1.14 : débitmètre à section variable (rotamètre)

1.4.2 Débitmètres massiques

1.4.2.1 Débitmètre électromagnétique

Le principe est basé sur la loi d'induction électromagnétique de Faraday. Le fluide qui traverse le débitmètre constitue un élément conducteur qui génère une tension induite par le champ magnétique produit par deux bobines d'induction alimentées en courant alternatif. Cette tension est linéairement proportionnelle à la vitesse du passage du fluide. [21]

Domaine d'utilisation : Les débitmètres électromagnétiques offrent la possibilité d'un calcul des vitesses bidirectionnelles. L'intervalle de vitesse in situ varie en fonction du diamètre de la conduite et doit correspondre à l'intervalle de vitesse de l'appareil, qui peut varier en fonction du type d'appareil (insertion ou non) (ex. : de 0,2 à 10 m/s). Il est conseillé de choisir le diamètre de la conduite de manière à ce que la vitesse du liquide au débit minimal soit le plus grand possible pour une meilleure garantie de précision et une stabilité du zéro ; les exigences sur ce point peuvent cependant varier selon les fabricants. [18]

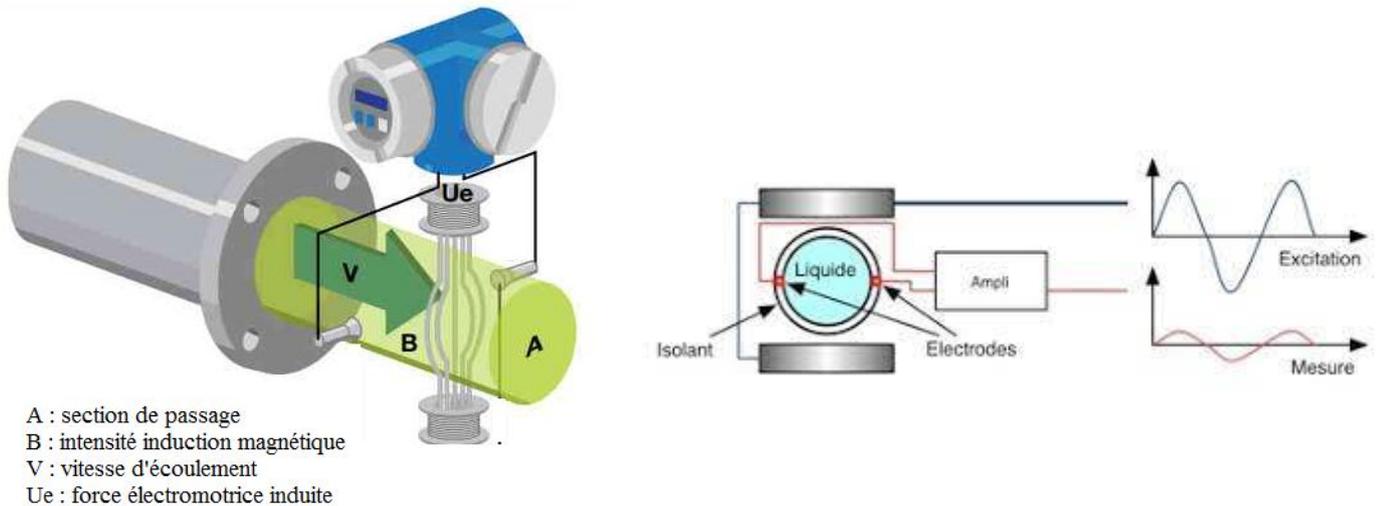


Figure 1.15 : principe de fonctionnement d'un débitmètre électromagnétique de Faraday [22]

1.4.2.2 Débitmètre à effet CORIOLIS [16]

La force de CORIOLIS F (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 le vecteur 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 a , la force de CORIOLIS. Le débitmètre de CORIOLIS utilise comme détecteur un tube en U sans obstacle.

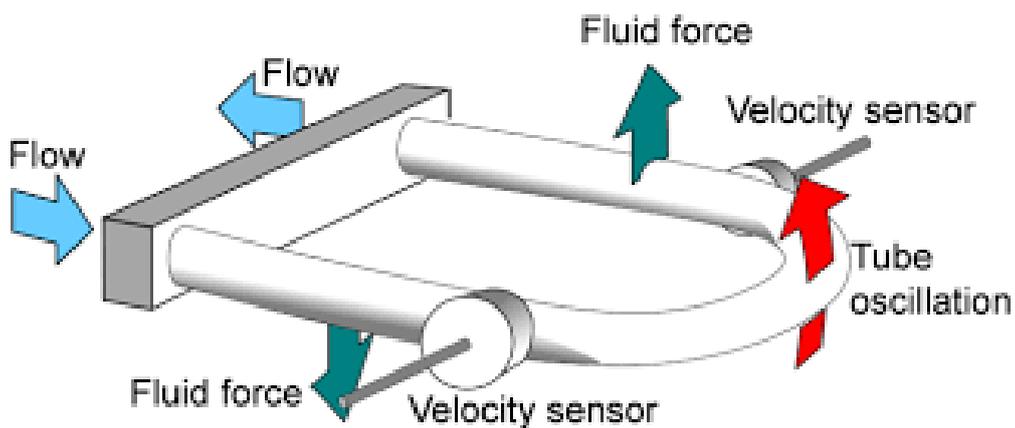


Figure 1.16 : débitmètre à effet CORIOLIS

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 [16]

1.4.2.3 Débitmètre massique thermique [16]

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.

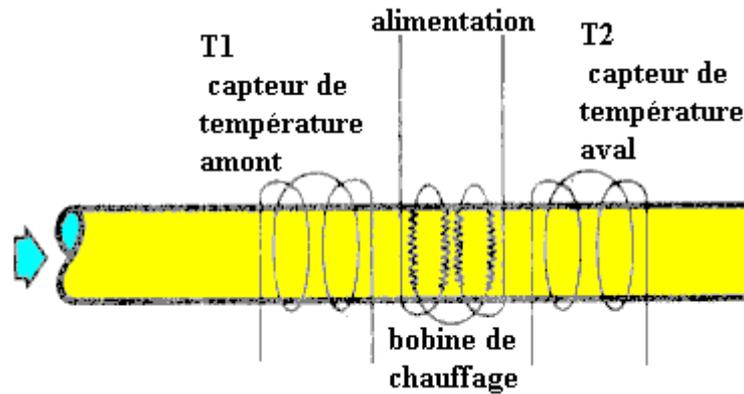


Figure 1.17 : débitmètre massique thermique

Domaine d'utilisation : liquide propre, gaz, vapeur

Chapitre 2 : Notions sur la mécanique des fluides

2.1 Introduction

La Mécanique des fluides est une branche de la physique qui s'intéresse à l'étude des mouvements et des déformations des systèmes matériels, mettant en jeu des écoulements de fluides.

Dans ce chapitre , nous allons présenter des rappels sur quelques notions de la MDF pour savoir la propriété des fluides, les types des forces agissant sur ces fluides , régime et type d'écoulement , la présentation des différentes équations qui régissent l'écoulement d'un fluide, les pertes de charge et l'étude de la pression et le début de la mécanique des fluides .

2.2 Définition d'un fluide

Les fluides sont des substances susceptibles de s'écouler et de prendre la forme du récipient qui les contient. Lorsqu'ils sont en équilibre, les fluides ne peuvent opposer de résistance aux forces tangentielles ou transverses. Tous les fluides présentent un certain degré de compressibilité et n'offrent aucune résistance aux changements de forme. On peut répartir les fluides en liquides et en gaz. Les principales différences existant entre les liquides et les gaz sont:

- les liquides sont pratiquement incompressibles tandis que les gaz sont compressibles et doivent être souvent traités comme tels
- les liquides occupent des volumes bien définis et présentent des surfaces libres tandis qu'une masse donnée de gaz se dilate jusqu'à occuper toutes les parties du récipient qui la contient. [2]

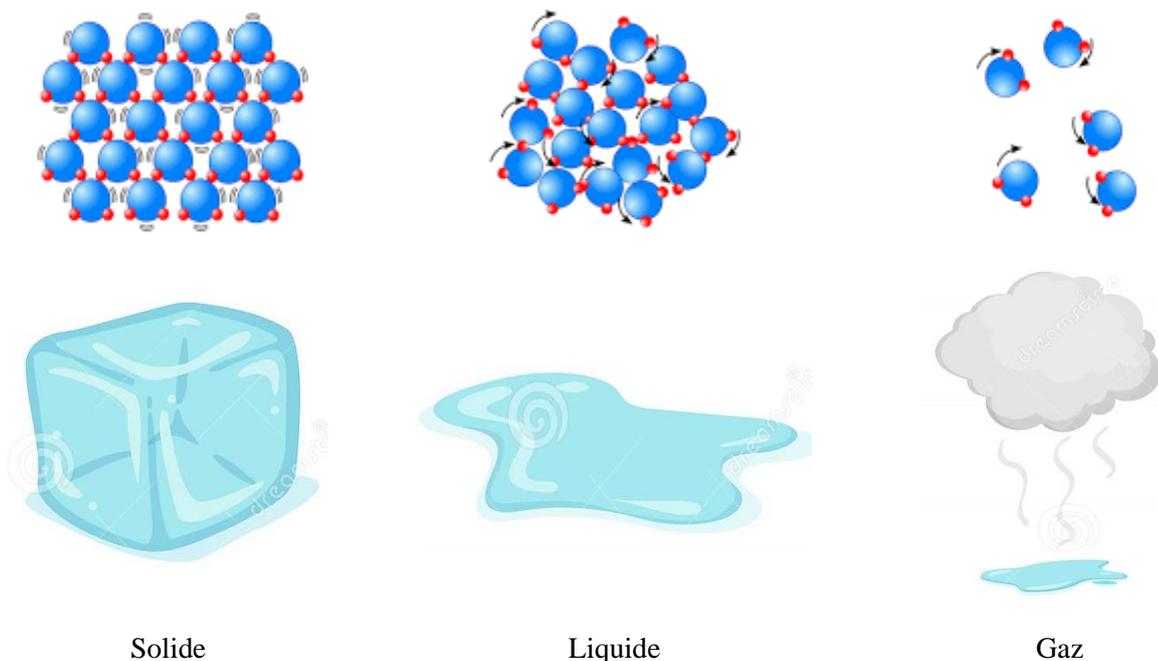


Figure 2.1 : Représentation idéalisée des trois états de la matière

2.3 Forces dans un fluide [1]

On peut classer les forces qui agissent sur les particules fluides situées à l'intérieur d'une surface « S » en deux catégories :

2.3.1 Forces intérieures

Les particules intérieures à « S » exercent les unes sur les autres des forces intérieures (Forces moléculaires) égales et opposées deux à deux (Principe de l'égalité de l'action et de la réaction) et qui forment par conséquent un système équivalent à zéro. [1]

2.3.2 Forces extérieures

Les particules extérieures à la surface « S » exercent sur les celles intérieures à « S » des forces extérieures. Comme ces particules sont limitées aux particules très voisines de cette surface, on suppose qu'elles exercent uniquement sur les particules de cette surface et les appelle:

Forces de Surface (proportionnelles aux éléments de surface). Les champs de force (pesanteur, magnétique, électrique et autres) exercent sur les particules intérieures à « S » des actions à distance qui sont proportionnelles aux éléments de volume. Ce sont les Forces de volume.

Généralement, on n'a à considérer que les forces de pesanteur, les forces de surface comportent les forces normales et tangentielles ces dernières sont généralement dues aux contraintes visqueuses. Un fluide parfait est un fluide pour lequel les forces de surface sont toujours normales aux éléments de surface (absence d'effets de viscosité) sur lesquelles elles s'exercent. Un fluide réel est un fluide possédant une viscosité s'opposant aux glissements des couches fluides les unes sur les autres. [1]

2.4 Ecoulement d'un fluide

2.4.1 Fluide parfait

Soit un système fluide, c'est-à-dire un volume délimité par une surface fermée Σ fictive ou non.

Considérons $d\vec{F}$ la force d'interaction au niveau de la surface élémentaire dS de normale $d\vec{n}$ entre le fluide et le milieu extérieur. On peut toujours $d\vec{F}$ décomposer en deux composantes :

- Une composante $d\vec{F}_T$ tangentielle à dS .
- Une composante $d\vec{F}_N$ normale à dS .

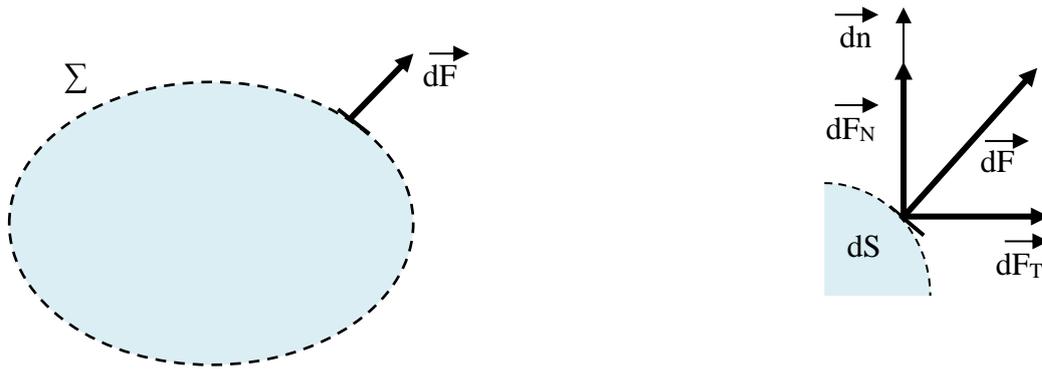


Figure 2.2 : Représentation de la force d'interaction au niveau de la surface élémentaire

En mécanique des fluides, un fluide est dit parfait s'il est possible de décrire son mouvement sans prendre en compte les effets de frottement. C'est à dire quand la composante $d\vec{F}_T$ est nulle. Autrement dit, la force $d\vec{F}$ est normale à l'élément de surface dS . [23]

2.4.2 Fluide réel

Contrairement à un fluide parfait, qui n'est qu'un modèle pour simplifier les calculs, pratiquement inexistant dans la nature, dans un fluide réel les forces tangentielles de frottement interne qui s'opposent au glissement relatif des couches fluides sont prise en considération. Ce phénomène de frottement visqueux apparaît lors du mouvement du fluide.

Seulement au re pos, qu'on admettra que le fluide réel se comporte comme un fluide parfait, en supposant que les forces de contact sont perpendiculaires aux éléments de surface sur lesquels elles s'exercent. [23]

2.5 Propriétés des fluides

2.5.1 Masse volumique :

La masse volumique ρ d'un fluide est la masse de l'unité de volume de ce fluide. Elle s'exprime en :

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.1)$$

Avec : m : masse du fluide (Kg) et v : volume de fluide (m^3). [23]

2.5.1.1 Fluide incompressible

Un fluide est dit incompressible lorsque le volume occupé par une masse donnée ne varie pas en fonction de la pression extérieure. Les liquides peuvent être considérés comme des fluides incompressibles (eau, huile, etc.). [23]

2.5.1.2 Fluide compressible

Un fluide est dit compressible lorsque le volume occupé par une masse donnée varie en fonction de la pression extérieure. Les gaz sont des fluides compressibles par exemple l'air, l'azote ...etc [23]

2.5.2 Poids volumique (poids spécifique) :

Il représente la force d'attraction exercée par la terre sur l'unité de volume, c'est-à-dire le poids de l'unité de volume.

$$\bar{\omega} = \rho \cdot g = \frac{m \cdot g}{v} \quad (2.2)$$

Avec : g : accélération de gravité et $\bar{\omega}$: Poids spécifique du liquide (N/m^3) . [23]

2.5.3 Densité :

La densité (ou densité relative) d'un corps est le rapport de sa masse volumique à la masse volumique d'un autre corps pris comme référence. Elle s'exprime par :

$$d = \frac{\text{masse volumique du fluide}}{\text{masse volumique d'un fluide de référence}} = \frac{\rho}{\rho_{\text{ref}}} \quad (2.3)$$

Dans le cas des liquides on prendra l'eau comme fluide de référence. Dans le cas des gaz on prendra l'air comme fluide de référence. [23]

2.5.4 Viscosité :

C'est une grandeur qui caractérise les frottements internes du fluide, autrement dit sa capacité à s'écouler. Elle caractérise la résistance d'un fluide à son écoulement lorsqu'il est soumis à l'application d'une force. C'est à dire, les fluides de grande viscosité résistent à l'écoulement et les fluides de faible viscosité s'écoulent facilement. Elle peut être mesurée par un viscosimètre à chute de bille, dans lequel on mesure le temps écoulé pour la chute d'une bille dans le fluide. Elle peut également être mesurée par un récipient dont le fond comporte un orifice de taille

standardisée. La vitesse à laquelle le fluide s'écoule par cet orifice permet de déterminer la viscosité du fluide.

La viscosité est déterminée par la capacité d'entraînement qui possède une couche en mouvement sur les autres couches adjacentes. Par exemple, si on considère un fluide visqueux placé entre deux plaques tel que la plaque mobile est animée d'une vitesse \vec{V} . [23]

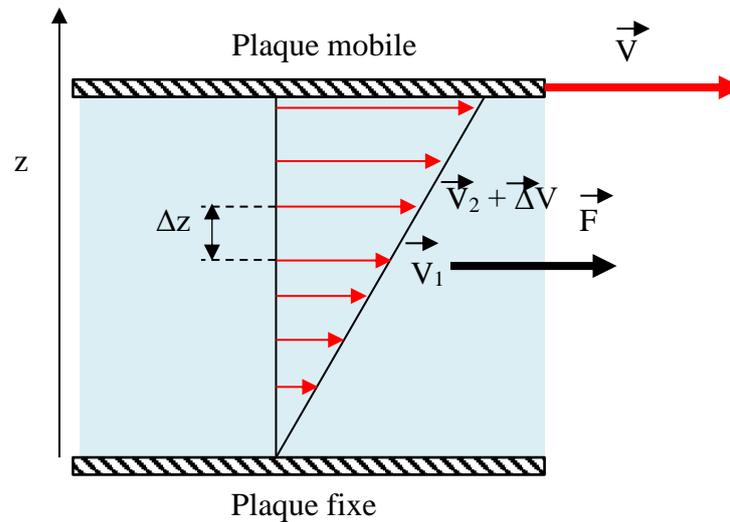


Figure 2.3 : Variation du profil de vitesses dans le film fluide [23]

En représentant par un vecteur, la vitesse de chaque particule située dans une section droite perpendiculaire à l'écoulement, la courbe lieu des extrémités de ces vecteurs représente le profil de vitesse. Le mouvement du fluide peut être considéré comme résultant du glissement des couches de fluide les unes sur les autres. [23]

On remarque que la force \vec{F} est proportionnelle à la vitesse \vec{V} , à l'aire de la plaque S et inversement proportionnelle à la distance Δz séparant les deux plaques. Mathématiquement, cette relation s'exprime par l'équation suivante:

$$F = \mu \cdot S \left(\frac{\Delta V}{\Delta z} \right) \tag{2.4}$$

2.6 Régimes d'écoulement [24]

Les expériences réalisées par Reynolds en 1883 lors de l'écoulement d'un liquide dans une conduite cylindrique rectiligne dans laquelle arrive également un filet de liquide coloré, ont montré

l'existence de trois régimes d'écoulement : le régime laminaire, le régime transitoire et le régime turbulent :

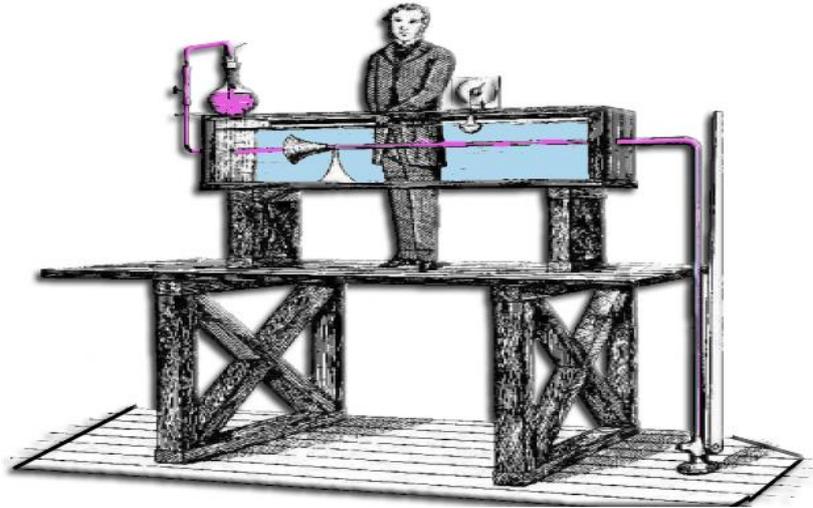


Figure 2.4: Installation expérimentale de Reynolds [25]

Le nombre de Reynolds Re donné par l'expression suivante :

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (2.5)$$

2.6.1 Le régime laminaire ($Re \leq 2100$)

Dans lequel l'écoulement s'effectue par filets de fluide parallèle, qui glissent les uns sur les autres, sans se mélanger. Les forces due à la viscosité sont prépondérantes et évitent la formation de remous ou de tourbillons. L'état de surface du conduit n'intervient pas dans ce type d'écoulement.

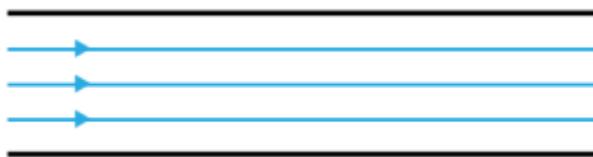


Figure 2.5 : Filet du colorant rectiligne indiquant le régime laminaire.

2.6.2 Le régime de transition ($2100 < Re < 2300$)

Qui se situe entre les deux précédentes, et dans lequel le type d'écoulement est instable

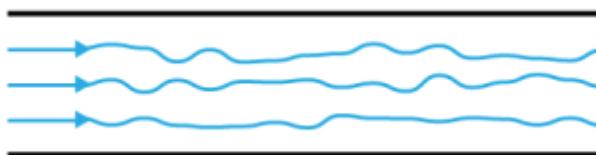


Figure 2.6 : Filet du colorant sinusoïdal indiquent le régime transitoire.

2.6.3 Le régime turbulent ($Re \geq 2300$)

Dans lequel l'écoulement est désordonné et les tourbillons mélangent énergétiquement les particules de fluide. L'état de surface du conduit n'est plus sans influence.

- Régime parfaitement lisse si $2300 \leq Re \leq 10^6$
- Régime parfaitement rugueux si $Re > 10^6$



Figure 2.7 : Filet du colorant éclaté indiquant le régime turbulent.

2.7 Théorème de Bernoulli

Le théorème de Bernoulli s'applique aux fluides incompressibles parfaits, c'est-à-dire aux fluides sans viscosité. Dans son expression la plus simple, il traduit la conservation de l'énergie dans un écoulement parfait.

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + z_2 \quad (2.6)$$

Dans le cas des fluides incompressibles réels, le théorème de Bernoulli généralisé exprime le bilan énergétique du fluide pris dans sa globalité :

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \Delta H_T \quad (2.7)$$

Avec ΔH_T : la perte de charge totale

En mécanique des fluides, la perte de charge correspond à la dissipation d'énergie due au frottement entre particule- particule et particule-paroi. Cette dissipation est transformée ensuite en chaleur. On distingue deux types de perte de charge :

- Les pertes de charges linéaires ou régulières.
- Les pertes de charges singulières ou locales.

2.7.1 Perte de charge linéaire ou régulière

Les pertes de charge linéaires (ou régulières) sont provoquées par la viscosité (autant moléculaire que turbulente) des liquides et des gaz réels ; elles prennent naissance lorsqu'il y a mouvement, et

résultent d'un échange de quantité de mouvement entre les molécules (écoulement laminaire) ou entre les diverses particules (écoulement turbulent) des couches voisines du fluide qui se déplacent avec des vitesses différentes. Ces pertes ont lieu sur toute la longueur de la conduite. L'expression générale de la perte de charge linéaire

$$\Delta H_L = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2.8)$$

La détermination du coefficient de la perte de charge linéaire, peut se faire à l'aide des équations ou à l'aide diagramme de Lewis Ferry Moody. [25]

2.7.1.1 Equations donnant le coefficient de la perte linéaire [25]

Dans le cas d'un régime est laminaire ($Re < 2100$), le coefficient de perte de charger linéaire λ est indépendant de la rugosité et n'est fonction que du nombre de Reynolds, il est donné par la relation **Jean-Léonard-Marie Poiseuille**. [26]

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (2.9)$$

Dans le cas d'un régime turbulent le coefficient de perte de charge est donné par des expressions analytiques déterminées expérimentale : [25]

- Pour un écoulement turbulent lisse tel que $2300 \leq Re \leq 10^5$, le coefficient de perte de charge linéaire λ déterminer par la formule d'**Heinrich Blasius** :

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (2.10)$$

- Pour un écoulement turbulent lisse tel que $10^5 \leq Re \leq 10^6$, on applique la formule de **Prandtl – Von Karman**

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log \left(Re \cdot \sqrt{\lambda} \right) - 0,8 \quad (2.11)$$

- Pour un écoulement turbulent rugueux tel que $Re > 10^6$, on applique la relation de **Cyril Frank Colebrook**

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,71D} \right) \quad (2.12)$$

Remarque : En industrie, on utilise la formule de **Colebrooke-White** :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,71D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \quad (2.13)$$

2.7.1.2 Utilisation du diagramme de Lewis Ferry Moody

Les canalisations et les conduites employées en pratique diffèrent sensiblement de celles utilisées dans l'expérience de Nikuradse (Corrélation de Johann Nikuradse validité se réduit aux écoulements turbulents rugueux). Leur rugosité n'est pas uniforme et elle n'est pas directement mesurable. Cependant, on peut attribuer une valeur de la rugosité relative (ϵ/D) à chaque type de conduite.

Une étude très détaillée des pertes de charge dans les conduites industrielles est due à Moody 1944.

Moody (1944) a publié un diagramme tracé à partir de l'équation de Colebrook, qui s'appelle le diagramme de Moody (illustré sur la Figure 2.8) et qui représente les équations (2.10) – (2.12). Il a une précision de $\pm 15\%$ dans la région utilisée.

Le résultat principal de cette étude est présenté à la Figure.2.8. Le diagramme de Moody donne le coefficient de perte de charge linéaire λ en fonction du nombre de Reynolds et de la rugosité relative de la canalisation. Le paramètre (ϵ/D) est donné pour chaque type de canalisation mais peut varier de façon significative. De ce fait λ n'est jamais déterminé à moins de 5 à 10% près. Ce facteur varie dans le temps du fait de correction et il faut prendre cet aspect en considération lorsque l'on doit concevoir un système fonctionnant sur une grande période de temps. [25]

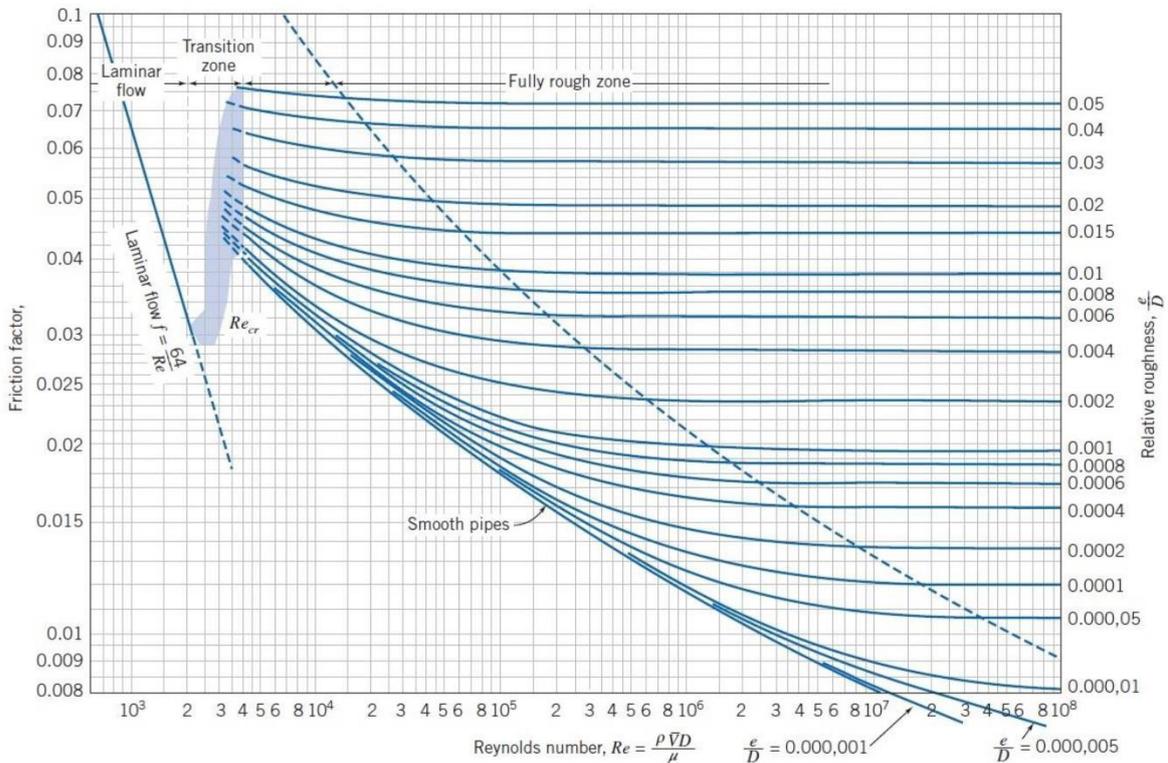


Figure 2.8: Diagramme de Moody [27]

2.7.2 Perte de charge singulière [25]

La perte de charge singulière apparaît lorsque la conduite subit une variation de section ou un changement de direction, l'écoulement du fluide subira alors une variation de la charge totale (énergie totale). On parlera ainsi d'une perte de charge singulière, qui est caractérisée par un coefficient de perte de charge singulière qui dépend de la forme et des dimensions de la singularité. La relation générale de la perte de charge singulière d'écrit :

$$\Delta H_S = K \frac{V^2}{2g} \quad (2.14)$$

2.7.2.1 Changement de direction

Dans les conduites et les canaux courbes (coudes à parois parallèles ou concentrique), est par suite du changement de direction de l'écoulement, il apparaît des forces centrifuges dirigées du centre de courbure vers la paroi extérieure de la conduite. De cela dépend l'augmentation de pression au voisinage de la paroi extérieure et sa diminution au voisinage de la paroi intérieure, lorsque l'écoulement passe de la conduite rectiligne à la partie coudée. La vitesse de l'écoulement devient beaucoup plus faible vers la paroi intérieure et plus élevée vers la paroi extérieure.

a) Coude Arrondi

La figure 2.9 représente les caractéristiques du coude arrondi dont dépend le coefficient de perte de charge et qui est donné par la relation :

$$K = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{d}{2r} \right)^{7/2} \right] \frac{\theta}{90^\circ} \quad (2.15)$$

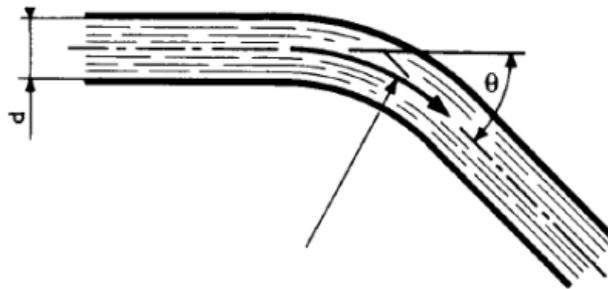


Figure 2.9 : caractéristiques géométriques d'un coude arrondi.

b) Coude à angle vif

Le coefficient de perte de charge singulière ne dépend pas du diamètre, il dépend seulement de l'angle θ [10].

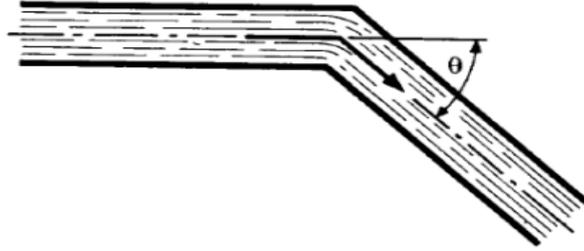


Figure 2.10 : caractéristique géométriques d'un coude à angle vif.

La formule qui donne le coefficient de perte de charge singulière en fonction de l'angle θ pour un coude à angle vif est :

$$K = 2 \sin^2(\theta) + 2 \sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (2.16)$$

On peut également utiliser la relation de Weisbach :

$$K = 0,947 \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) + 2,047 \sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (2.17)$$

Ou celle de Gibson:

$$K = 67,6 \times 10^{-6} (\theta)^{2,17} \quad (2.18)$$

2.7.2.2 Changement de section

Il existe quatre types de changement de section :

a) Elargissement brusque de section :

À la sortie de la section S_1 , il se forme un jet qui ne recolle pas immédiatement aux parois de la section élargie. Il se forme alors une zone morte où on observe un mouvement tourbillonnaire intense.

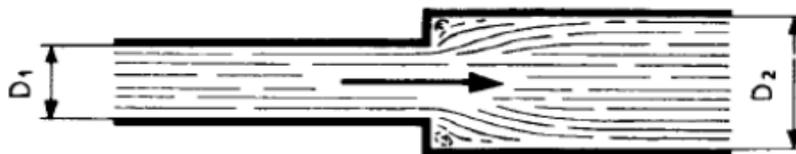


Figure 2.11: Caractéristiques d'un élargissement brusque.

Le coefficient de perte de charge singulière K d'un élargissement brusque est déterminé à l'aide de la relation suivante :

$$K = \left[1 - \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^2 \right] + \frac{1}{9} \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^2 \quad (2.19)$$

b) Rétrécissement brusque

La perte de charges, dans la partie où les filets liquides convergent, est négligeable par contre après avoir passé la section contractée, la veine s'élargit et on observe une perte de charges comparable à celle provoquée par un élargissement brusque.

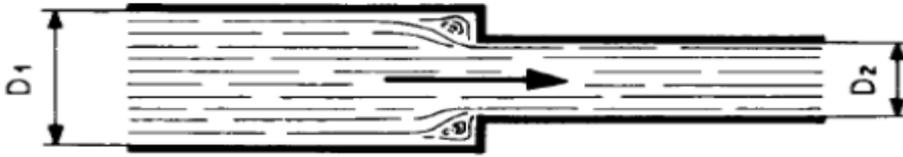


Figure 2.12 : Caractéristiques d'un rétrécissement brusque

Le coefficient de perte de charge singulière K d'un rétrécissement brusque est calculé à l'aide de la relation (2.20).

$$K = 0,5 \left(1 - \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \right) \quad (2.20)$$

c) Convergent : [8]

La section diminue progressivement, et la perte de charge singulière est pratiquement négligeable.

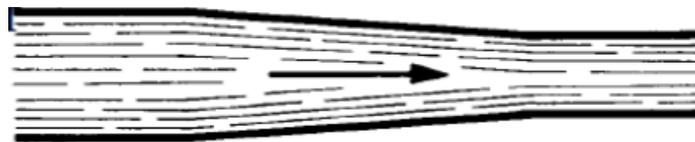


Figure 2.13 : Diminution progressive de la section (convergente)

d) Divergent : [8]

La section augmente progressivement, et la perte de charge singulière n'est pas négligeable.

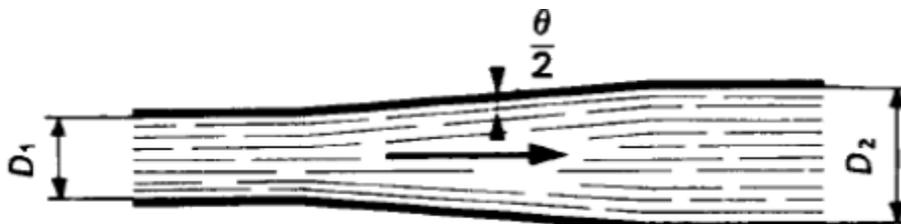


Figure 2.14 : Augmentation progressive de la section (divergente)

Le coefficient de perte de charge singulière K est donné par :

$$K = 3,2 \left(\operatorname{tg} \left(\frac{\theta}{2} \right) \right)^{1,25} \left(1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right)^2 \quad (2.21)$$

2.7.2.3 Appareils de robinetterie [8]

La robinetterie désigne l'ensemble des organes constituant et participant à constituer une installation d'alimentation et de distribution de fluides à l'intérieur ou à l'extérieur d'une construction

a) Vanne opercule : [8]

La vanne à opercule ou vanne à passage direct est conçue pour une utilisation complètement ouverte ou entièrement fermée. La vanne à opercule ou vanne à passage direct est installée sur des tuyauteries afin de faire un isolement et ne peut pas être utilisée pour faire du réglage.

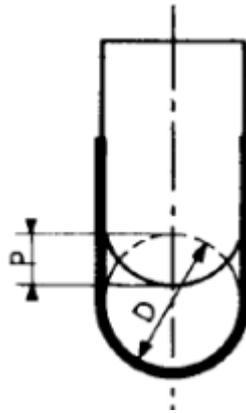


Figure 2.15 : Vanne opercule.

Le coefficient de perte de charge singulière K d'une vanne opercule est déterminé à l'aide du tableau 2.1.

$\frac{p}{D}$	0.125	0.25	0.375	0.5	0.625	0.75	0.875
K	0.07	0.26	0.81	2.06	5.52	17	98

Tableau 2.1 : Valeurs du coefficient K de la perte de charge singulière en fonction de l'ouverture de la vanne (opercule).

b) Vanne à papillon [8]

Si l'utilisation d'une vanne papillon n'est pas vraiment courante, c'est qu'il s'agit d'un dispositif à usage plus spécifique. En effet, elle est principalement réservée pour les tuyauteries de 50 mm de diamètre. Explicitement, un robinet papillon est conçu pour actionner l'ouverture et la fermeture d'une canalisation. Il permet également de régler une situation intermédiaire entre ces deux options.

Comparée aux autres types de vannes, elle permet une manœuvre plus rapide ainsi qu'une bonne étanchéité. Autrement dit, la perte de charge n'est pas considérable. D'autre part, son installation

et/ou désinstallation est très rapide. A noter que son obturateur de débit est très similaire à un papillon de carburateur, d'où lui est attribué son nom.

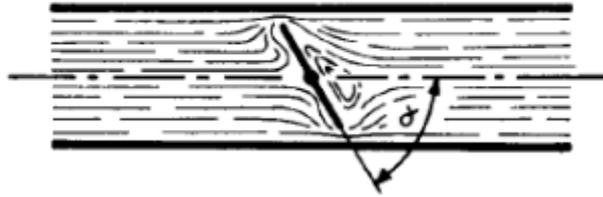


Figure 2.16 : Vanne à papillon.

Le coefficient de perte de charge singulière K d'une vanne à papillon est déterminé à l'aide du Tableau 2.2.

α	5	10	15	20	30	40	45	50	60	70
K	0.24	0.52	0.9	1.5	3.9	11	19	33	118	750

Tableau 2.2: Valeurs du coefficient K de la perte de charge singulière en fonction de l'angle d'ouverture de la vanne (à papillon).

c) Vanne à boisseau [8]

La vanne est un dispositif de robinet. Elle présente une taille nettement plus importante que celle du robinet et intervient pour la régulation du flux d'un fluide passant dans une canalisation. La vanne à boisseau sphérique représente quant à elle une vanne à tournant sphérique. Mais elle est beaucoup plus utilisée pour servir de vanne d'arrêt plutôt qu'une vanne de régulation du débit. La vanne à boisseau sphérique propose plusieurs avantages.

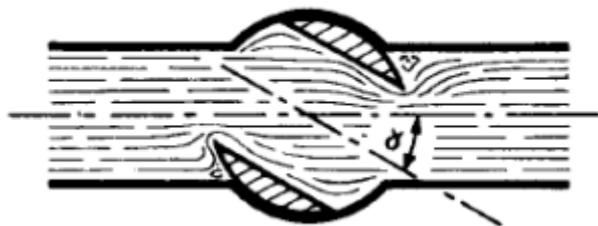


Figure 2.17 : Robinet à boisseau.

Le coefficient de perte de charge singulière K d'un robinet à boisseau est déterminé à l'aide du tableau 2.3.

α	5	10	15	20	30	40	45	50	55	60
K	0.05	0.29	0.75	1.6	5.5	17	31	53	110	206

Tableau 2.3 : Valeurs du coefficient K de la perte de charge singulière en fonction de l'angle d'ouverture de la vanne (à boisseau).

d) Clapet à battant [25]

En termes simples, vous pouvez utiliser un clapet à boule combiné à battant dans toutes les situations où vous utiliseriez un clapet anti-retour. Si vous travaillez sur un système d'égout, il est plus important que vous en installiez un. Un système de puisard ne contient généralement pas de matériau contaminé, l'entretien n'est pas un problème.

Si vous avez juste besoin de placer un clapet anti-retour dans un système de pompe de puisard simple, le clapet régulier fonctionnera parfaitement et répondra à vos besoins. Si votre système de puisard fonctionne souvent ou si vous pensez qu'il peut avoir besoin d'un entretien plus régulier, il peut être plus logique de mettre un clapet à boule combiné à battant. Cela permettra de gagner du temps et de faciliter l'entretien.

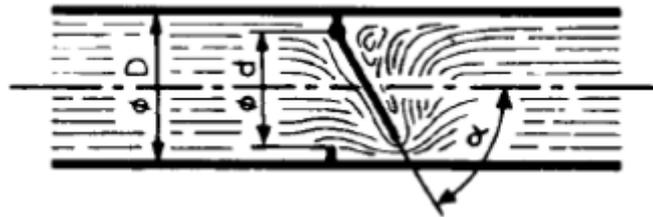


Figure 2.18 : Clapet à battant. [8]

Le coefficient de perte de charge singulière K d'un clapet à battant est déterminé à l'aide du tableau 2.4.

α	20	30	40	45	50	55	60	65	70	75
K	1.7	3.2	6.6	9.5	14	20	30	42	62	90

Tableau 2.4 : Valeurs du coefficient K de la perte de charge singulière en fonction de l'angle d'ouverture du clapet à battant. [8]

Chapitre 3 :
Conception et
réalisation du banc

3.1 Introduction

Dans l'objectif de réaliser un banc didactique qui aide l'enseignant à faire les différentes manipulations dans les séances TP, car le but de ce projet est de concevoir un banc qui aide les étudiants des prochaines promotions à comprendre les concepts de manière pratique pour montrer les phénomènes liés à la mécanique des fluides et après avoir présenté les différents coefficients de la mécanique des fluides que le projet peut contenir dans les chapitres précédents, nous commencerons dans ce chapitre à concevoir le banc puis procéder à sa réalisation selon le modèle proposé dans la première partie de ce chapitre.

3.2 Conception du banc

Avant d'entamer la partie MDF, nous avons pensé à un processus qui exprime le fonctionnement du banc, pour cela, quelques recherches sur le net ont été établies et nous a conduit à la production de l'énergie électrique par pompage d'eau ou ce qu'on appelle stations de transfert d'énergie par pompage "STEP", ce sujet qui fait partie de domaine des énergies renouvelables est un sujet très important et attire l'attention des chercheurs autour du monde.

3.2.1 Processus de fonctionnement du banc

Les STEP's sont un type particulier d'installations hydroélectriques. Composées de deux bassins situés à des altitudes différentes, elles permettent de stocker de l'énergie en pompant l'eau du bassin inférieur vers le bassin supérieur lorsque la demande électrique est faible (et le prix de l'électricité peu élevé). Lorsque la demande électrique augmente (tout comme le prix de l'électricité), elles restituent de l'électricité sur le réseau en turbinant l'eau du bassin supérieur.

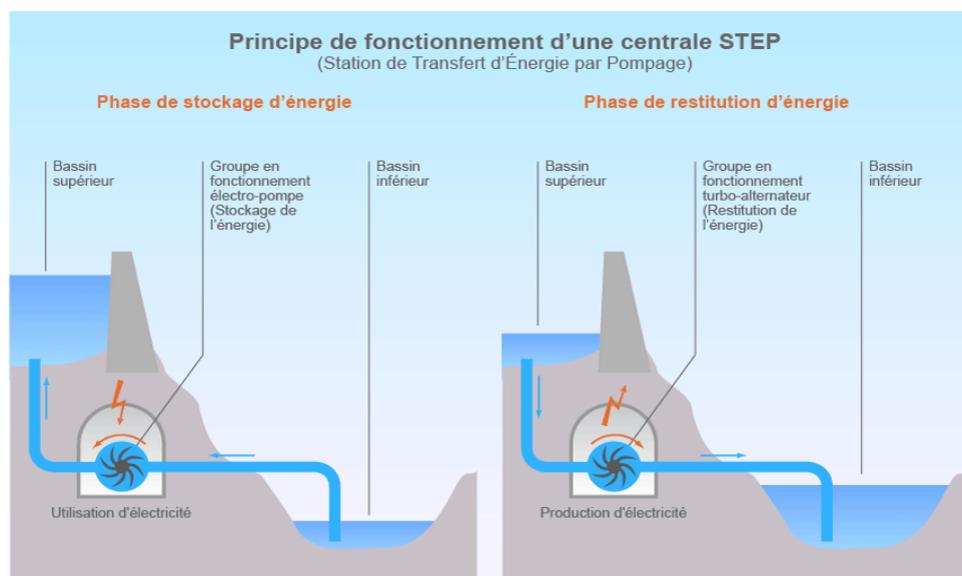


Figure 3.1 : Schéma de fonctionnement d'une STEP [28]

Grâce à leur fonction de stockage, ces installations contribuent à maintenir l'équilibre entre production et consommation sur le réseau électrique, tout en limitant les coûts de production lors des pics de consommation. A l'heure actuelle, le transfert d'énergie par pompage hydraulique est la technique la plus mature de stockage stationnaire de l'énergie.

Le présent travail a été réalisé basant sur ce processus.

Le schéma synoptique de la **figure 3.2**, montre l'idée de notre prototype.

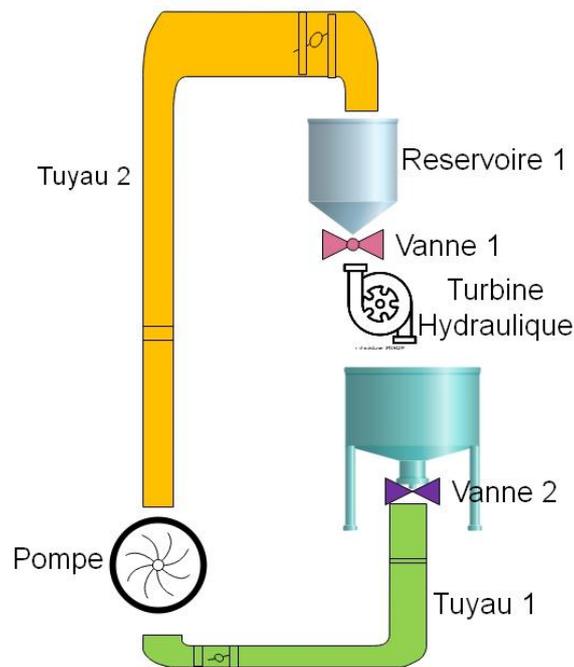


Figure 3.2 : Schéma synoptique du processus du banc

Sur la figure 3.2, nous avons simulé le même processus STEP, avec deux réservoirs l'un est situé au-dessous de l'autre, les deux sont équipés à une vanne et entre les deux réservoirs, il y a la présence d'une turbine hydraulique.

Deux cycles seront appliqués, le premier est le cycle de remplissage ou pompage appliquée dans les durées de disponibilité de l'énergie et le deuxième est le cycle de chute appliqué lorsqu'on veut produire d'énergie.

Ce processus peut être exploité en détail par les étudiants de master des années prochains spécialité en génie électrique ou énergie renouvelable.

Il est noté que le remplissage du réservoir 1 est fait automatiquement par un simple algorithme montré par la figure 3.3. Ci-dessous.

3.2.1.1 Plateforme de développement

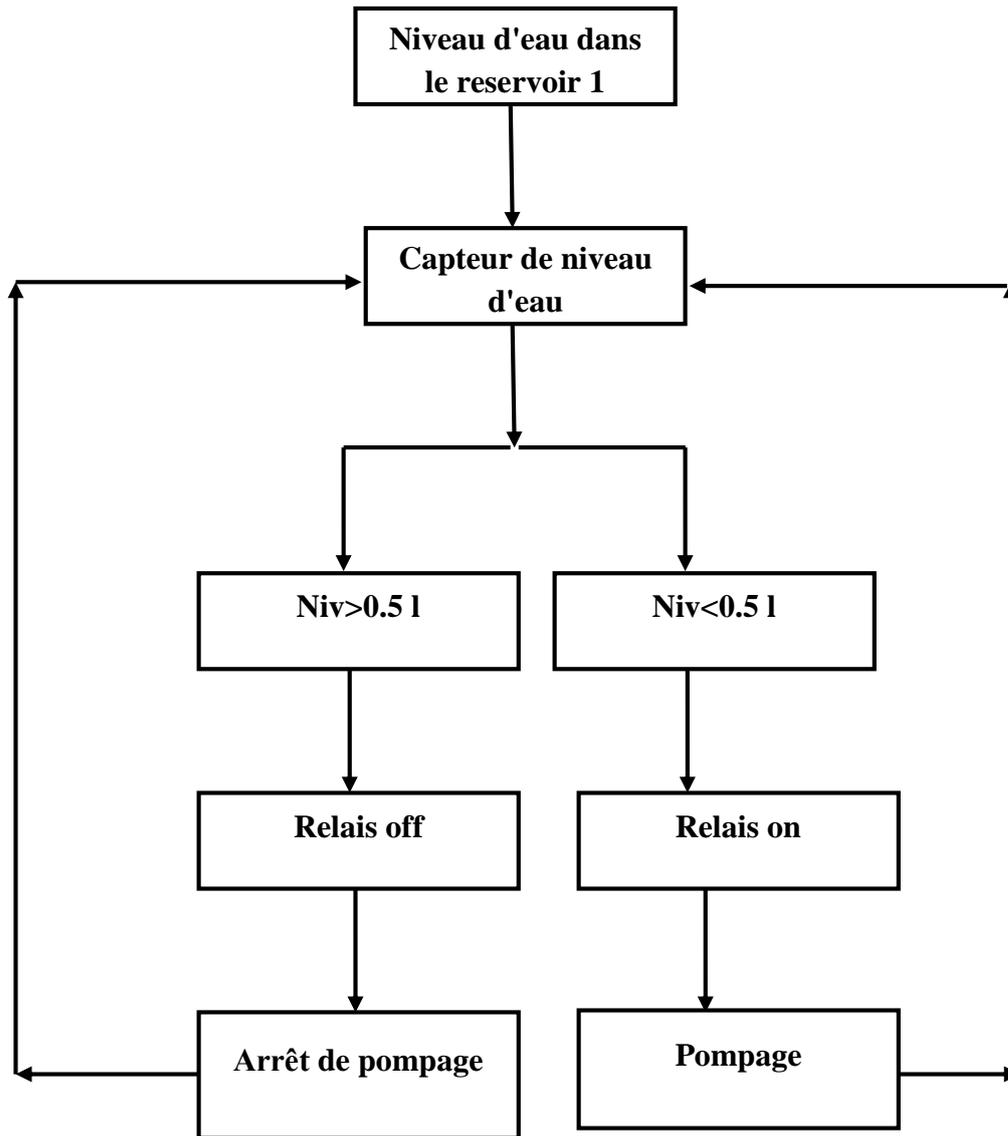


Figure 3.3 : Processus de remplissage automatique

3.2.2 Etude de la Mécanique des fluides appliquée

Passant maintenant à l'objectif principal de notre banc, dans un premier lieu, nous avons intéressé par le nombre de **Reynolds** afin de déterminer le régime d'écoulement d'eau lors de la phase de pompage. Nous avons donc un intérêt de déterminer le débit d'eau, la vitesse.

Comme certains paramètres liés directement à la température de l'eau, donc il faut aussi déterminer cette dernière.

Les équations et les relations pour calculer et déterminer les différents paramètres ont été expliquées dans le chapitre précédent (**chapitre 2**). Toutes les paramètres seront bien sur affichés sur un écran.

3.3 Réalisation du banc

Après avoir terminé la conception du banc, dans cette partie, nous présentons le matériel utilisé qui se compose d'un certain circuit d'eau, capteurs, support, etc...

3.3.1 Partie électronique

Cette partie a pour objectif de détecter les grandeurs physiques mesurés à travers les différents capteurs, les traitées puis les affichées et commandé les autres parties.

Un schéma de connexion entre les différents composants électroniques est illustré par la figure 3.4 ci-dessous :

3.3.1.1 Plateforme de développement

ARDUINO est une plateforme électronique open source réputée pour sa facilité d'utilisation et sa vitesse de mise en œuvre. Elle a été initialement développée dans un but pédagogique et pour le prototypage de montages électroniques mettant en œuvre un microcontrôleur.[29]

Le matériel Arduino est une carte de circuit imprimé open source avec un microcontrôleur et des broches d'entrée / sortie (E / S) pour la communication et le contrôle des objets physiques (LED, servos, boutons, etc.). La carte sera généralement alimentée via USB ou une alimentation externe qui à son tour lui permet d'alimenter d'autres matériels et capteurs. La carte Arduino Uno (**figure 3.5**) est la version destinée aux projets plus ambitieux.



Figure 3.5 : Carte Arduino UNO

L'Arduino dispose également d'un composant logiciel open-source similaire à C++. L'environnement de développement intégré Arduino (IDE) permet d'écrire du code, de le compiler, puis de le télécharger sur la carte Arduino pour une utilisation autonome dans le prototypage et les projets. [29]



Figure 3.6 : Logiciel Arduino IDE

3.3.1.2 Capteur

Un ensemble de capteur est utilisé afin d'atteindre l'objectif visé, comme les capteurs industriels sont très chers, nous avons utilisé des capteurs didactiques moins chères par rapport aux autres mais bien sur présente quelque défaut tel que le temps de réponse lent et la précision.

a) Capteur YF-S401 (débitmètre)

Le premier capteur présenté est le capteur de débit d'eau YF-S401, ce capteur se compose d'un corps en PVC, d'un rotor à eau et d'un capteur à effet hall. Lorsque l'eau circule dans le rotor, celui-ci roule. Sa vitesse varie selon le débit. Le capteur à effet hall émet le signal d'impulsion correspondant. Celui-ci est adapté pour détecter le débit dans distributeur d'eau ou machine à café par exemple [30]. C'est capteur Compact, facile à installer, avec haute performance d'étanchéité et de haute qualité, il est aussi conforme à RoHS. Voilà quelque caractéristiques important, d'autre caractéristiques se trouve dans la datasheet [30].

- Caractéristiques de l'impulsion de débit $F = (98 * Q) 2 \% Q = L / MIN$
- HR Pression d'eau : 1,75MPa
- Erreur : +/-2L/min ;
- Résistant à l'eau 0.35MPa
- Plage de débit : 1 5 L/min



Figure 3.7 : Capteur de débit d'eau YF-S401 [30]

b) Capteur de température étanche DS18B20

Le DS18B20 montré dans la figure 3.8 est un capteur de température numérique fabriqué par Maxim Integrated (anciennement Dallas Semiconductor). C'est l'un des capteurs de température les plus populaires sur le marché et offre une précision assez élevée ($\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$) sur une large plage de température ($-55 \text{ }^\circ\text{C}$ à $+125 \text{ }^\circ\text{C}$) avec une précision (erreur du thermomètre) de $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ [31]



Figure 3.8 : Capteur de température DS18B20 [31]

c) Capteur de niveau d'eau

Capteur de niveau d'eau facile à utiliser, L'utilisation des pistes parallèles sur la Board permettent de détecter le niveau d'eau de manière analogique, facile à convertir en numérique pour le Arduino [32]. Le grand problème de ce type de capteur présenté dans la figure 3.9 est la réaction d'oxydoréduction à cause de légère acidité d'eau, et la circulation du courant entre deux palettes.

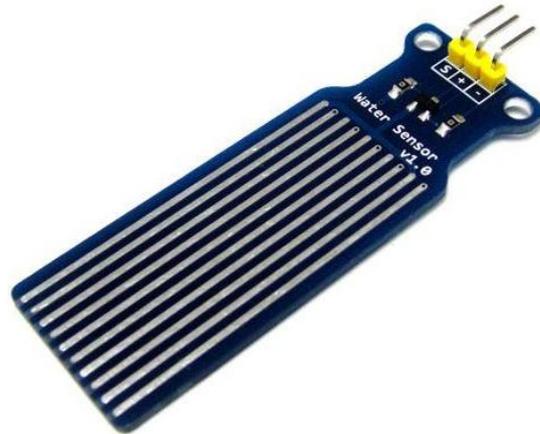


Figure 3.9 : Capteur de niveau d'eau [32]

d) Ecran d'affichage

L'afficheur LCD est en particulier une interface visuelle entre un système (projet) et l'homme (utilisateur). Son rôle est de transmettre les informations utiles d'un système à un utilisateur. Il affichera donc des données susceptibles d'être exploiter par l'utilisateur d'un système [32].

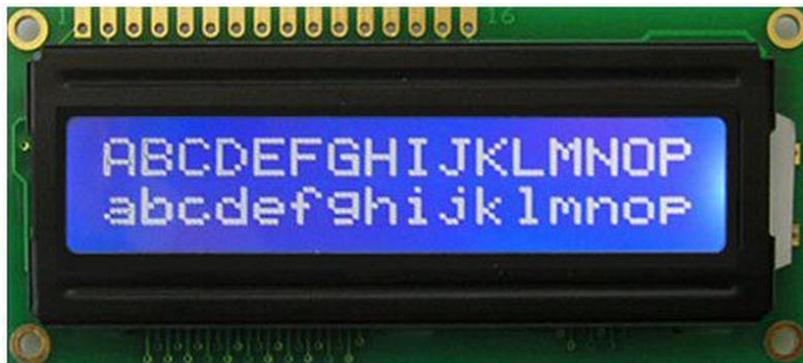


Figure 3.10 : Afficheur LCD [32]

3.3.2 Partie Puissance

Deux composants construisent cette partie, la pompe et le relais.

3.3.2.1 La pompe

Les pompes véhiculant des liquides se divisent en deux catégories principales :

- Les pompes centrifuges : le mouvement du liquide résulte de l'accroissement d'énergie qui lui est communiqué par la force centrifuge.
- Les pompes volumétriques : l'écoulement résulte de la variation d'une capacité occupée par le liquide. [33]

Dans notre projet, nous avons utilisé une pompe de vidange de machine à laver récupérer d'une machine défaillant en vue de réduire le cout de réalisation du banc, dont ces caractéristiques sont les suivants :

- Model : AW-1200 TT.
- Taille du tuyau : 30mm.
- Alimentation-220V-240V.
- Fréquence : 50HZ.
- Puissance: 30W.
- Débit : 25 l/min.

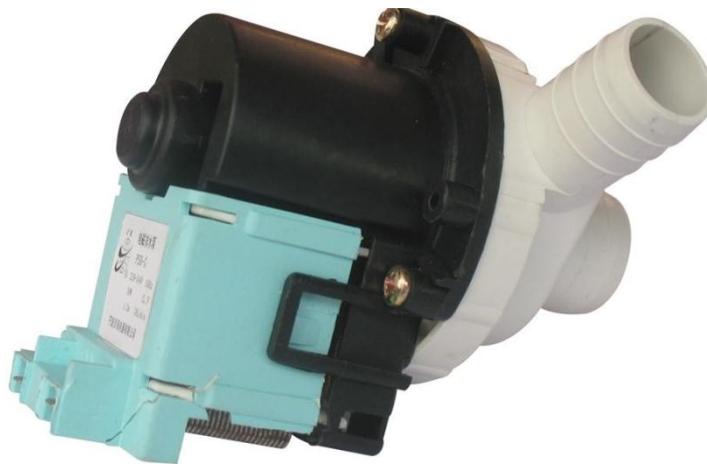


Figure 3.11 : Pompe de vidange de machine à laver [34]

3.3.2.2 Relais

Un relais est un commutateur électrique qui permet de commander un second circuit utilisant généralement une tension et un courant bien supérieur à ce que l'Arduino pourrait accepter (par exemple, allumer/éteindre une ampoule 220V). Tout simplement, on peut le définir comme un mécanisme simple d'interrupteur on/off : il se ferme lorsque l'entrée est à 5V et s'ouvre lorsque l'entrée est à 0V. De même Il n'y a pas de connexion entre le circuit basse tension de l'Arduino et le circuit haute tension [35].



Figure 3.12 : Module relais 5V-220V [35]

3.3.3 Quincaillerie

Cette partie construit le reste de projet, elle est constituée d'un ensemble de tuyauterie, support, réservoir, etc...

3.3.3.1 Les réservoirs

Il y'a deux réservoirs, le réservoir situé en haut (réservoir 1 dans le schéma) est un seau en plastique type : polypropylène dont son volume est de 3l, avec une hauteur de 155mm,



Figure 3.13 : Seau plastique 3 litres

De même pour le réservoir en bas (réservoir 2 dans le schéma), qu'est un Seau plastique 10 litres



Figure 3.14 : Seau plastique 10 litres [11]

3.3.3.2 Les Tuyaux

Deux tuyaux ont été placés dans le banc ont vue de créer un circuit d'eau, le premier raccordé avec le réservoir 2 est de type PVC de diamètre 25mm avec 48cm de longueur.

Le deuxième c'est flexible raccordé d'un côté avec la pompe et à l'autre côté avec le réservoir 1 (réservoir en haut) de diamètre de 6mm et 82cm de longueur.



Figure 3.15 : Tuyaux utilisés dans l'installation

3.4 Etape de réalisation

Après avoir préparé la théorie, réalisé la conception et acheté le matériel, nous avons entamé la partie de réalisation du banc, pour faciliter cette tâche, nous avons procédé à la réalisation par étape :

3.4.1 Soudure de porteur du banc

Cette étape a été réalisée à l'aide de service de magasin en niveau de notre université, un support de 1m en hauteur et 0.5m au largeur soudé et peinturé sur une table afin de bien fixer les composants constitue le banc et éviter toute instabilité lors de démarrage de la pompe.

3.4.2 Installation de la tuyauterie et des réservoirs du banc

Deuxièmes, c'est l'installation des tuyaux et les réservoirs dans le support, des fixateurs en métal ont été fixés sur le support pour installer les deux réservoirs et raccorder les tuyaux et les vannes avec les réservoirs.

3.4.3 Installation de la pompe et des capteurs

Ensuite nous avons placé la pompe et chaque capteur dans sa position comme suit : le capteur niveau d'eau et température installés dans le réservoir 1, le capteur de débit installé à la sortie de la pompe, cette dernière est raccordée aussi avec un relais 220V pour contrôler son démarrage et son arrêt, enfin l'afficheur LCD avec la carte Arduino Uno ont été fixés sur le support.

3.4.4 Ecrire le programme de contrôle

Il nous reste donc que le code à écrire et à téléverser à la carte Arduino, pour faire fonctionner

le bon, le code écrit est le suivant figure 3.16 :

```

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
/*Déclaration des fonction*/
#define ONE_WIRE_BUS 5
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
/*Déclaration des valeurs et définition des portes*/
int Niv=0;
int Nivbas=343;
float rho, mu,T;
const int relais_moteur =8;
int sensorInterrupt = 0; // interrupt 0
int sensorPin      = 2; //Digital Pin 2
unsigned int SetPoint = 400; //400 millileter
String code="";
/*The hall-effect flow sensor outputs pulses per second per litre/
float calibrationFactor = 70; //You can change according to your c
volatile byte pulseCount =0;

float flowRate = 0.0;
unsigned int flowMilliLitres =0;
unsigned long totalMilliLitres = 0,volume=0;

unsigned long oldTime ;

void setup()
{ totalMilliLitres = 0;
// Initialize a serial connection for reporting values to t
Serial.begin(9600);
pinMode(relais_moteur, OUTPUT);
pinMode(sensorPin, INPUT);
digitalWrite(sensorPin, HIGH);
/*The Hall-effect sensor is connected to pin 2 which uses
(state to LOW state)*/
attachInterrupt(sensorInterrupt, pulseCounter, FALLING);
sensors.begin();

void loop()
{
sensors.requestTemperatures(); // Send the command to get temperat
Niv=analogRead(A0);
Serial.println(Niv);
delay(200);
if (Niv<Nivbas) {
digitalWrite(relais_moteur, LOW); // On arret la pompe à eau
lcd.setCursor(0, 0); // se positionner à la première ligne
lcd.print("niveau haut");
lcd.setCursor(0, 1); // se positionner à la première ligne
lcd.print("Pompe arret");
delay(1000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(sensors.getTempCByIndex(0));
lcd.setCursor(5,0);
lcd.print("T:");
lcd.setCursor(8,0);
}
}

```

Figure 3.16 : Code téléversé

3.4.5 Etalonnage des capteurs

Tout capteur nécessite un étalonnage, pour cela nous avons utilisé un thermomètre pour étalonner le capteur DS18B20, utilisation de la méthode directe pour étalonner le capteur de débit et utiliser le volume d'eau pour étalonner le capteur de niveau d'eau.

3.4.6 Le travail final

La figure 3.17 Montre le banc final.



Figure 3.17 : Banc final

3.5 Essai pratique

Lors de l'alimentation de l'unité de contrôle ; capteurs et pompe, le projet démarre avec un affichage définit le projet comme suit :



Figure 3.18 : Démarrage du banc (remplissage auto)

3.5.1 Cas niveau d'eau $h > 0,5$ l

Dans ce cas-là, le niveau d'eau dans le réservoir 1 est supérieure à la consigne, le capteur détecte le niveau et affiche l'indication '**Niveau haut**', le seul capteur fonction dans ce cas est le capteur de température **DS18B20** qui affiche la température d'eau.

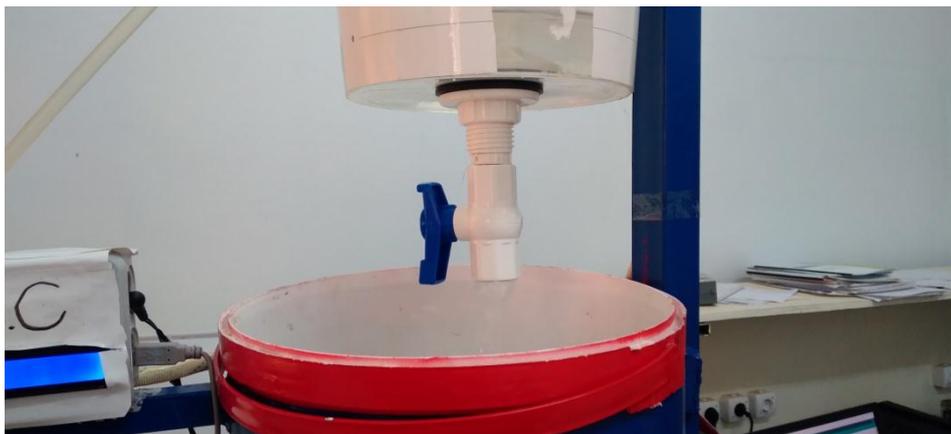


Figure 3.19 : Cas niveau d'eau haut (décharge d'eau)



Figure 3.20 : Cas niveau d'eau haut (pompe arrêt)

3.5.2 Cas niveau d'eau $h < 0,5$ l

Dans ce cas-là ; le niveau d'eau est baissé au-dessous de la consigne, la pompe démarre automatiquement et le processus de remplissage commence **figure 3.21**.



Figure 3.21 : cas niveau bas remplissage d'eau

Durant le processus de remplissage, l'étude MDF est établis, d'où on peut voir clairement les différents coefficients affichés sur le LCD.

3.5.3 Débit volumique et la vitesse

La figure 3.22 ci-dessous, montre le débit mesuré par le capteur et la vitesse calculé ; selon l'affichage ; nous avons un débit de 11ml/s, ce qu'est confirmé par la méthode directe, ce résultat montre clairement l'efficacité du capteur de débit et par la suite on peut définir le régime d'écoulement de l'eau.



Figure 3.22 : Débit et vitesse d'eau

3.5.4 La viscosité et la masse volumique

Pour quantifier le nombre de Reynolds, il faut tout d'abord déduire les coefficients viscosité et La masse volumique, de ce fait, à partir de la température d'eau, un tableau est intégré dans le programme qui peut détecter directement les coefficients en fonction de la température mesuré par le capteur de température.

Dans notre cas, les coefficients affichés sur l'affichage sont tel que montrés dans la **Figure 3.23** :

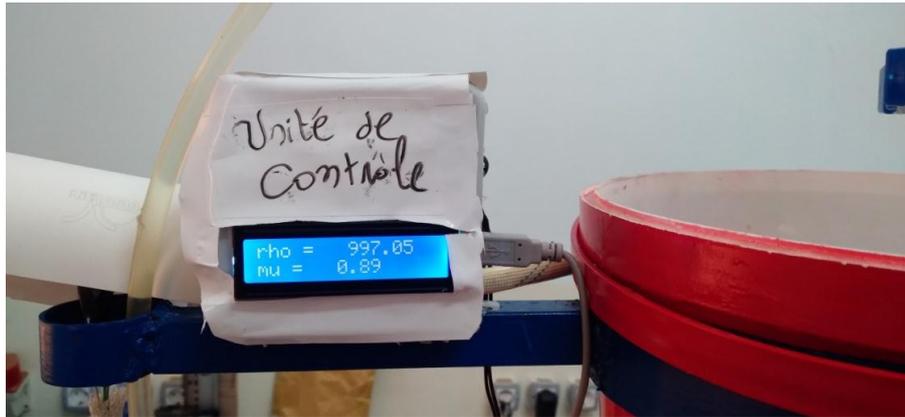


Figure 3.23 : Viscosité et la masse volumique

Si on référé au tableau 3.1, on peut confirmer la validité des résultats obtenu, et par la suite, le nombre de Reynolds sera caractérisé.

°C	$\rho(\text{Kg/m}^3)$	$\mu \times 10^{-6} (\text{Pa.s})$
0	1000	1793.636
5	999.9	1534.741
10	999.7	1296.436
15	999.1	1135.610
20	998.2	993.414
25	997	870.00

Tableau 3.1 : la variation de la masse volumique et de la viscosité dynamique en fonction de la température

3.5.5 Caractérisation de nombre de Reynolds

Après avoir mesuré et calculé les différents coefficients, l'Arduino et par application de la formule (2.5), calcul le nombre de Reynolds puis l'affiché sur l'afficheur, la figure 3.24 montre le nombre de Reynolds obtenus :



Figure 3.24 : Nombre de Reynolds

Ont vue de confirmer le résultat obtenu, nous avons procédé un calcul manuel utilisant les paramètres affichés et les équations du chapitre précédent, cette étape nous a permet de confirmer la justesse de ce nombre affiché par l'Arduino qu'est $Re = 2616,37$.

Ce nombre, nous a donné la possibilité de déterminer le régime de l'écoulement de l'eau, à l'aide de la carte Arduino, cette dernière et à partir de la base de données lui insérée, a la capacité de qualifie ce nombre et déterminé le régime puis l'affiché sur le LCD comme suit :



Figure 3.25 : Régime de l'écoulement

Comme le nombre de Reynolds est Supérieure à 2300, le régime est turbulent lisse, ce qu'est exactement affiché sur le LCD.

3.6 Résultats et discussions

L'objectif de cette étude est de voir l'effet de la hauteur de remplissage du grand réservoir et la position de l'ouverture de robinet à boisseau sur le débit volumique et la pression dynamique et statique. Le tableau 3.2 montre le débit volumique (ml/s) la vitesse et le nombre de Reynolds affichés pour chaque hauteur de remplissage dans le grand réservoir. La vitesse est déterminée à partir de l'équation de la conservation de masse. Par ailleurs, le nombre de Reynolds représente le rapport entre les forces inertielles et les forces visqueuses.

N °	Hauteur de remplissage de grand réservoir H (cm)	Débit volumique Q_v (ml/s)	Vitesse (m/s)	Nombre de Reynolds Re
1	11	15	0.53	3565.96
2	9	14	0.50	3328.23
3	8	13	0.46	3090.50
4	7	11	0.39	2615.04

Tableau 3.2 : les valeurs du débit volumique, la vitesse et le nombre affichés pour chaque hauteur de remplissage dans le grand réservoir H

L'effet de la hauteur de remplissage dans le grand réservoir H sur le débit volumique Q_V est illustré dans la figure 3.26. On remarque que le débit volumique augmentant paraboliquement lorsque la hauteur de remplissage H augmente. Ce résultat est logique, parce que la pompe utilisée dans les expériences n'est pas sucée, seulement refouler.

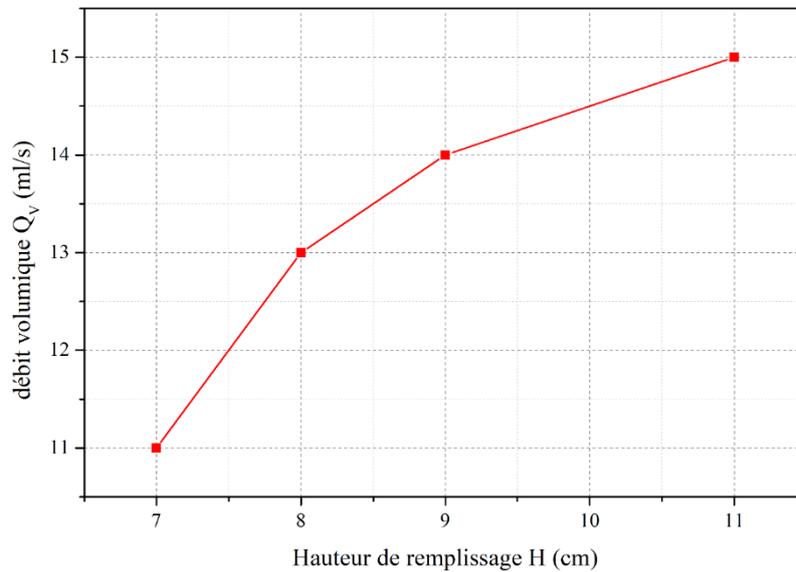


Figure 3.26 : Variation du débit volumique Q_V en fonction de la hauteur de remplissage dans le grand réservoir H

La variation du nombre de Reynolds Re en fonction de la hauteur de remplissage dans le grand réservoir H est représentée dans la figure 3.27. On remarque que lorsque la hauteur de remplissage augmente le nombre de Re augmente.

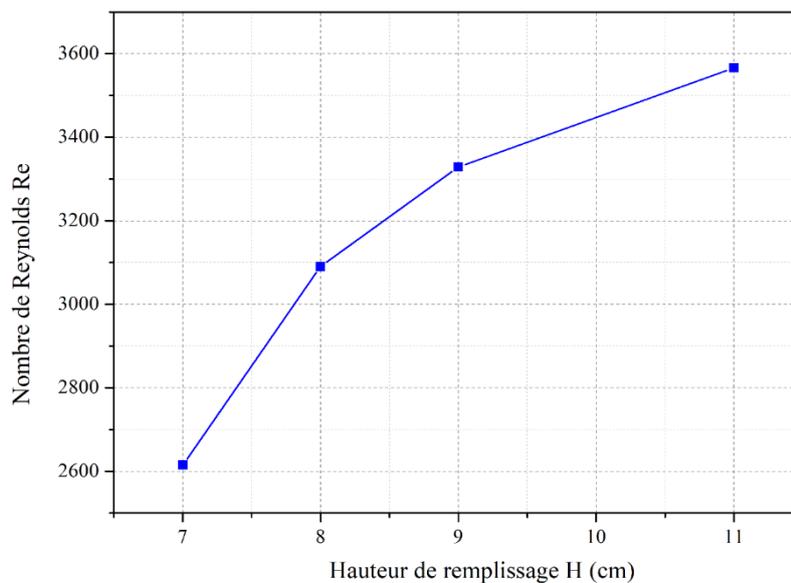


Figure 3.27 : Variation du nombre de Reynolds Re en fonction de la hauteur de remplissage de grand réservoir H

Le tableau 3.3 montre le débit volumique (ml/s) la vitesse et le nombre de Reynolds affichés pour chaque position de l'ouverture de robinet à boisseau.

N °	Ouverture de robinet à boisseau	Débit volumique Q_v (ml/s)	Vitesse (m/s)	Nombre de Reynolds Re
1	0	0	0.00	0.00
2	½	12	0.42	2852.77
3	1	15	0.53	3565.96

Tableau 3.3 : les valeurs du débit volumique, la vitesse et le nombre Re en fonction de la position de l'ouverture de robinet à boisseau

Les figures 3.28 et 3.29 illustrent l'effet de la position de l'ouverture de robinet à boisseau sur le débit et le nombre de Reynolds. Nous remarquons que les valeurs maximales du débit volumique et du nombre de Reynolds sont obtenues pour l'ouverture totale de robinet à boisseau. Ceci dû à présence des pertes de charge singulière au niveau du robinet

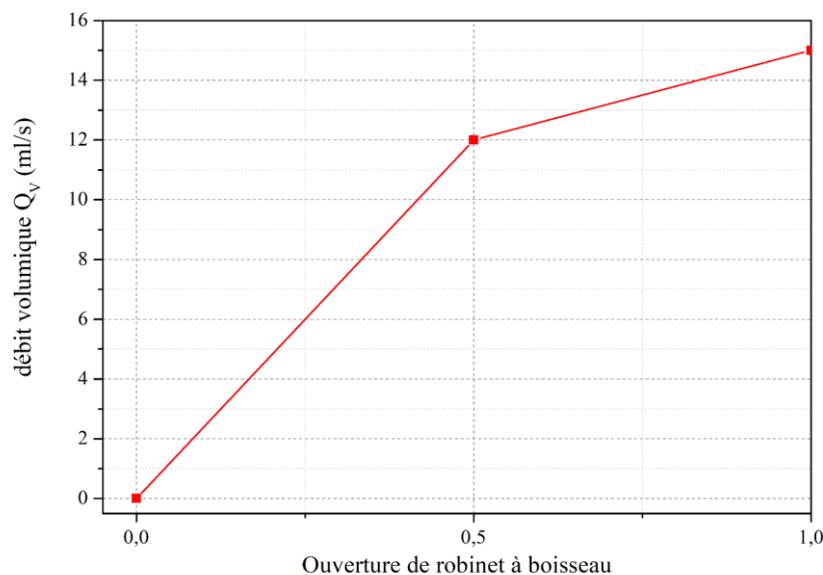


Figure 3.28 : Variation du débit volumique Q_v en fonction de la position de l'ouverture de robinet à boisseau

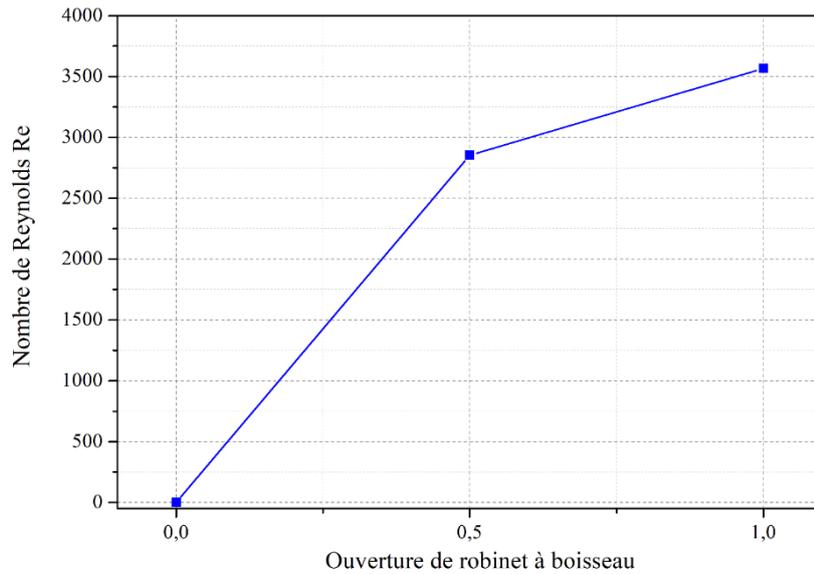


Figure 3.29 : Variation du nombre de Reynolds Re en fonction de la position de l’ouverture robinet à boisseau

Le tableau 3.4 et la figure 3.30 montrent l’influence du débit volumique (ml/s) sur la pression dynamique. Nous remarquons que la pression dynamique augmente avec l’augmentation du débit volumique Q_v

N °	Débit volumique Q_v (ml/s)	Vitesse (m/s)	Pression dynamique (bar)
1	15	0.53	0.00140
2	14	0.50	0.00122
3	13	0.46	0.00105
4	11	0.39	0.00075

Tableau 3.4 : les valeurs de la pression dynamique pour les différentes du débit volumique

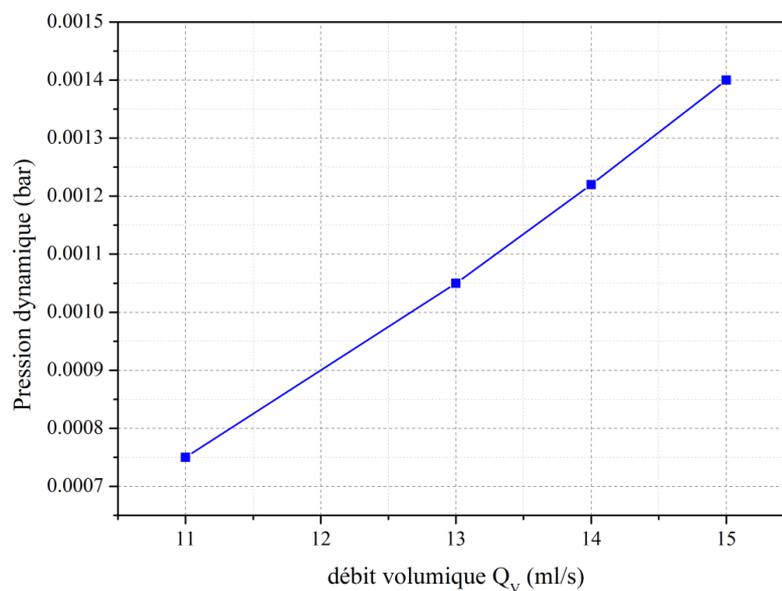


Figure 3.30 : Variation de la pression dynamique en fonction du débit volumique Q_v

3.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous allons entamer le travail de réalisation, après avoir décrit le processus, les algorithmes, la théorie et le matériel, le banc est réalisé et test. Comparant les résultats obtenus avec celle des résultats calculés théoriquement ou par la méthode directe ; on peut confirmer la réussite de notre projet de réalisation

Conclusion générale

A travers le travail présenté dans ce mémoire, nous avons réalisé un banc didactique avec chaîne d'acquisition de grandeurs fluidiques (pression et débit volumique). À cet effet, nous avons utilisé des capteurs de température, de débit et de niveau d'eau, une carte microcontrôleur Arduino et une pompe. Les signaux collectés sont envoyés à un PC en utilisant la programmation pour une analyse plus approfondie du débit volumique, de la température et des mesures de Reynolds.

Les résultats obtenus sont résumés comme suit :

- lorsque la hauteur de remplissage du grand réservoir H augmente , le débit volumique et le nombre de Re augmentent
- les valeurs maximales du débit volumique et du nombre de Reynolds sont obtenues pour l'ouverture totale de robinet à boisseau
- la pression dynamique augmente avec l'augmentation du débit volumique Q_v

Il y a un certain nombre de recommandations qui peuvent être faites pour améliorer cet équipement au cours des prochains travaux.

Ces recommandations sont spécifiques à la conception des appareils.

- deux sondes de pression sont utilisées avant et après la pompe
- Ajouter la résistance thermique pour étudier un échangeur thermique.

Liste des références

- [2] Randld V. Giles, Mécanique des fluides et hydraulique, Mc Graw-Hill 1975.
- [3] Oussama Bouziane et Belinda Langelihle Yolanda Dube, Contribution à l'étude d'une microsonde météorologique constituée de trois capteurs (température, pression et l'humidité) en Technologie MEMS, UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID, , année universitaire 2015- 2016.
- [4] Cours Instrumentations – Capteurs, 3^{ème} Année Raffinage et pétrochimie - Génie des Procédés, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene Faculté de Génie Mécanique et Génie des Procédés, , année universitaire 2016-2017.
- [7] TAZOUTA Abdelhakim & BOUGHRARA Abdelhakim, Simulation numérique de l'écoulement cavitant dans le tube de venturi, Mémoire de Master en Génie mécanique, année universitaire 2018- 2019.
- [8] MEDJDOUB Isslam Abderrazak et FATEH Mohamed, Étude expérimentale de la perte de charge, Université Ibn Khaldoun de Tiaret, année universitaire 2020-2021.
- [10] ZEGGOU Souad et NEMCHI Amina, Etude théorique et expérimentale de certaines méthodes de mesure débit : Tube de venturi et diaphragme, Université Ibn Khaldoun de Tiaret, année universitaire 2012-2013.
- [15] CHADLI SAMIR, Expérimentation numérique des performances du conditionneur faisceau de tubes sur la mesure de débit, Mémoire de Magister en génie climatique, année universitaire 2010-2011.
- [16] MORSLI Mohamed Abd El Wahab et BOUICH Mohamed, Techniques de Mesure et d'Etalonnage des Débitmètres au niveau de l'Usine de Dessalement d'Eau de Mer de Mostaganem, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, , année universitaire 2019- 2020.
- [21] Amor Gharsalli, Mesures et Instrumentations Mesure de Débit, Université Virtuelle de Tunis
- [23] Sakir Amiroudine et jean -Luc Battaglia, Mécanique des fluides, Edition DUNOD, Paris, 2011.
- [24] Riadh Ben Hamouda, 'Notions de mécanique des fluides', Centre de Publication Universitaire, Tunis, (2008).
- [25] Benouadah Younes. et Sermoum Hicham., Étude de la Perte de Charge dans une Installation Type SIRGHAZ- Naftal Tiaret, Université Ibn Khaldoun de Tiaret, année universitaire 2019-2020.
- [26] Kaabouche, Boumedién,'Description de la section de stockage de l'unité GPL-1HASSI MESSAOUD',Novembre 2017.
- [27] Mr. BOUDERBALA Abdelkader Maître de conférences classe « B », Polycopié de Cours destiné aux étudiants M1 Géotechnique, Université de Khemis Miliana, Septembre 2017.
- [29] Azzouz Aymen, Khiter Ahmed Mustapha, étude et realisation d'une maquette didactique pour analyse vibratoire des machines tournantes en mesure spectrale, Université Ibn Khaldoun de Tiaret, , année universitaire 2019/2020.

- [32] SABRI Islem et BAHRIA Mohamed El Amine, réalisation d'un système agriculture hors-sol automatique (l'agriculture jardin intérieur), mémoire de fin de formation, 2020.
- [33] Lahlouh Mohamed Ridha et Azizou Abderrahmane, Etude et réalisation d'un Système d'irrigation automatique, 2018.
- [35] M^{lle} ADDOU Asmaa et M^{lle} BAHOUS Nawel, Réalisation d'une maison intelligente à base d'Arduino, Mémoire de master, Centre Universitaire - BELHADJ Bouchaib - Ain Témouchent, , année universitaire 2019-2020.

Sites web

- [5] <http://www.ventilation-industrie.fr/la-notion-de-pression#:~:text=La%20pression%20dynamique%20est%20provoqu%C3%A9e,autre%20%C3%00%20la%20pression%20statique>. (consulté le 08/05/2022 à 14:00)
- [6] https://www.wika.fr/landingpage_pressure_measuring_instrument_fr_fr. WIKA (consulté le 08/05/2022 à 15 :30)
- [9] https://ressources.unisciel.fr/mecaflux/co/Chap3_exo2.html (consulté le 08/05/2022 à 09 :30)
- [11] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Tube-de-Pitot.html> (consulté le 17/03/2022 à 11 :30)
- [12] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Tube-de-Pitot-page-2.html> (consulté le 17/03/2022 à 12:30)
- [13] <https://www.aquaportail.com/definition-12903-tube-de-pitot.html> (consulté le 19/03/2022 a 13 :30)
- [14] https://www.wikiwand.com/fr/Tube_de_Pitot (consulté le 16/05/2022 à 15:00)
- [17] <https://aichouni.tripod.com/mech-elearn/e-maktaba/cherigui-magister/chap2.pdf> (consulté le 20/04/2022 à 14 :00)
- [18] https://www.ceaeq.gouv.qc.ca/documents/publications/echantillonnage/debit_conduit_ouvC7.pdf (consulté le 12/05/2022 à 10 :20)
- [19] <https://sitelec.org/cours/dereumaux/mesurdebit.htm> (consulté le 12/05/2022 à 10:25)
- [20] <https://chemicalengineeringworld.com/rotameter-working-and-types/> (consulté le 20/03/2022 à 12 :00)
- [22] <http://i-hafsaoui.e-monsite.com/medias/files/chapitre6-.pdf> (consulté le 10/04/2022 à 17:00)
- [1] <https://www.scribd.com/document/478972234/Chapitre-I-Generalites-sur-la-MDF-pdf> (consulté le 23/02/2022 a 15 :00).
- [28] <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/hydroelectricite-stations-de-transfert-denergie-par-pompage-step> consulté le 26/03/2022

[30] <https://www.epitran.it/ebayDrive/datasheet/YF-S401.pdf> (consulté le 29/04/2022 à 16 :40)

[31] <https://boutique.semageek.com/fr/769-sonde-de-temperature-etanche-ds18b20-3005502597383.html> (consulté le 24/04/2022 à 09 :40)

[34] https://fr.aliexpress.com/item/32723927337.html?spm=a2g0o.detail.1000060.2.1a1a5452wmJm74&gps-id=pcDetailBottomMoreThisSeller&scm=1007.13339.274681.0&scm_id=1007.13339.274681.0&scm-url=1007.13339.274681.0&pvid=65b44df5-8e90-4976-a7f1-cd5a076e54f2&_t=gps-url%3ApcDetailBottomMoreThisSeller%2Cscm-url%3A1007.13339.274681.0%2Cpvid%3A65b44df5-8e90-4976-a7f1-cd5a076e54f2%2Ctpp_buckets%3A668%232846%238115%232000&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2261175985637%22%2C%22sceneId%22%3A%223339%22%7D&pdp_npi=1%40dis%7CDZD%7C%7C4101.67%7C%7C%7C%7C%7C%402101f6b416509758083276278e23ff%7C61175985637%7Crec&gatewayAdapt=glo2fra (consulté le 25/04/2022 à 11:22)

ملخص:

في هذا المشروع، حققنا مقعدًا تعليميًا به سلسلة اقتناء لقياس كميات السوائل المختلفة. تحقيقًا لهذه الغاية، قدمنا تركيب المكونات وعرض (تدفق الحجم ودرجة الحرارة ورقم رينولدز ونظام التدفق). أيضًا، استخدمنا مستشعرات (التدفق، ودرجة الحرارة، ومستوى الماء) وبطاقة الأردوينو لضمان الأداء السليم لجهازنا، من خلال هذه التلاعبات أكدنا أن أجهزتنا قد يتم وضعها كاختبار مقاعد البدلاء للقيام بالعمل العملي.

الكلمات المفتاحية: السوائل، تقنية القياس، درجة الحرارة، الأردوينو، الحساس، التدفق، الضغط.

Résumé :

Dans ce projet, nous avons réalisé un banc didactique avec chaîne d'acquisition pour mesurer des différentes grandeurs fluidiques.

À cet effet, nous avons présenté le montage des composantes et l'affichage des (débit volumique, Température, nombre de Reynolds et Régime d'écoulement). Aussi, nous avons utilisé des capteurs de (débit, température, niveau de l'eau) et une carte Arduino pour assurer le bon fonctionnement de notre appareille, à travers ces manipulations nous avons confirmé que notre appareille est peut-être met comme un banc de test pour faire les travaux pratiques.

Mots clés : **Fluide, technique de mesure, Température, Arduino, Capteur, débit, pression.**

ABSTRACT:

In this project, we realized a didactic bench with acquisition chain to measure different fluid quantities.

To this end, we have presented the mounting of the components and the display of the (volume flow, temperature, Reynolds number and flow regime). Also, we used sensors (flow, temperature, water level) and an Arduino card to ensure the proper functioning of our device, through these manipulations we confirmed that our device may be placed like a bench test to do the practical work.

Keywords: **Fluid, measurement technique, Temperature, Arduino, Sensor, flow, pressure.**