



UNIVERSITE IBN KHALDOUN TIARET

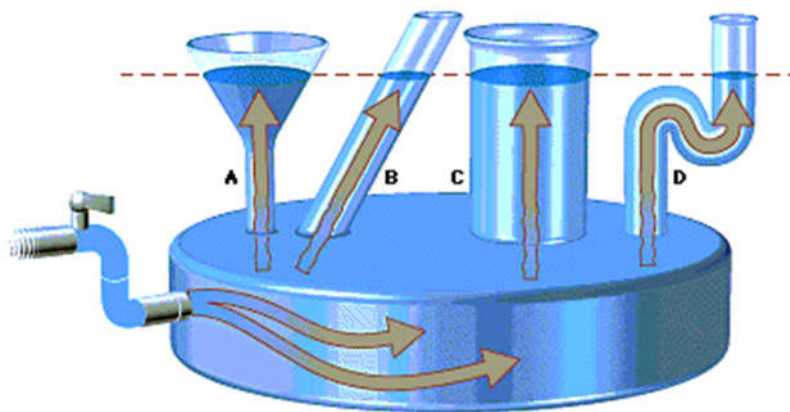
Faculté : Sciences appliquées

Domaine : sciences et technologies

filière : génie mécanique



Travaux pratiques de la mécanique des fluides



Préparé par :

Dr BELMILOUD Mohamed Amine

Maitre de Conférences classe B

Département de Génie mécanique

Avant –propos

Ce polycopié des travaux pratiques de la mécanique des fluides répond au programme officiel du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique. Il est destiné aux étudiants de la première année master spécialité énergétique, de la deuxième année licence génie mécanique et génie civil du domaine Sciences & Technique et physique énergétique du domaine Sciences de la matière des universités algériennes.

Table des matières

	Page
Avant- propos	i
Table des matières.....	ii
Nomenclature	iii
propriétés des fluides	
Techniques de mesure.....	2
Viscosimètre à chute de bille	8
Etalonnage d'un manomètre.....	15
Statique des fluides	
Etude de centre de poussée.....	23
Cinématique des fluides	
Ecoulement autour d'un obstacle.....	34
Dynamiques des fluides	
Mesure de débit.....	41
Théorème de Bernoulli.....	47
Vidange horizontale d'un réservoir.....	55
Vidange verticale d'un réservoir.....	62
Impulsion d'un jet.....	69
Expérience d'Osborne Reynolds.....	77
Pertes de charge dans un système de conduites.....	83
Liste des Références.....	96

Nomenclature

Symbole	Définition	Unité
C_d	indice d'écoulement	[-]
C_s	indice de contraction	[-]
C_v	indice de vitesse	[-]
D	Diamètre	[m]
e	distance entre le centre de poussée D et le Barycentre C de la surface effective	[m]
F	la force de poids	[N]
F_P	la force de poussée	[N]
G	accélération de la pesanteur	[m/s ²]
H	la hauteur du tube pizométrique	[m]
H	niveau d'eau	[m]
ΔH	perte de charge	[m]
l_D	la distance entre le centre de poussée et le centre de rotation	[m]
L	Bras de levier	[m]
M	Masse	[kg]
P	Pression	[N/m ²]
ΔP	perte de pression	[N/m ²]
Q_v	débit volumique	[m ³ /s]
R	rayon de la bille	[m]
Re	nombre de Reynolds	[-]
S	Section	[m ²]
T	Temps	[s]
U	Vitesse	[m/s]
V	Volume	[m ³]
Z	Côte	[m]
x,y	coordonnée cartésienne	[m]

Symboles grecs

θ	Angle d'inclinaison	[°]
ε	rugosité interne des conduites	[m]
ρ	Masse volumique	[kg /m ³]
κ	coefficient de perte de charge singulière	[-]
μ	viscosité dynamique	[kg/m.s]

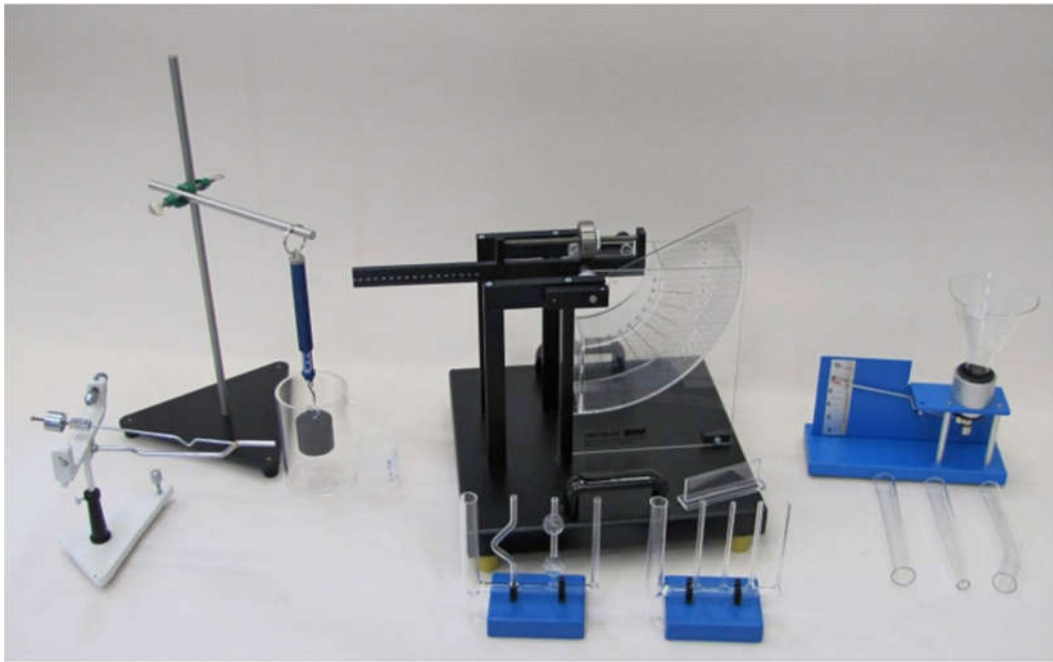
ν	viscosité cinématique	$[m^2/s]$
Λ	coefficient de perte de charge linéaire	$[-]$
Φ	la fonction potentielle	$[m^2/s]$
ψ	la fonction de courant	$[m^2/s]$

Indices et exposants

D	Dynamique
S	Statique
M	Moyenne
H	Hydraulique

Propriétés des fluides

Techniques de mesure



1. Objectif de TP

- ✚ étude de la poussée d'Archimède de différents corps
- ✚ étude de la densité de liquides
- ✚ pression hydrostatique, loi de Pascal

2. Introduction

Un fluide peut être considéré comme étant une substance formée d'un grand nombre de particules matérielles, très petites et libres de se déplacer les unes par rapport aux autres. C'est donc un milieu matériel continu, déformable, sans rigidité et qui peut s'écouler. Les forces de cohésion entre particules élémentaires sont très faibles de sorte que le fluide est un corps sans forme propre qui prend la forme du récipient qui le contient, par exemple: les métaux en fusion sont des fluides qui permettent par moulage d'obtenir des pièces brutes de formes complexes.

2.1. Poussée d'Archimède

La poussée d'Archimède est une force qui s'oppose à une partie du poids d'un solide plongé dans un fluide. Il est possible d'écrire son expression vectorielle

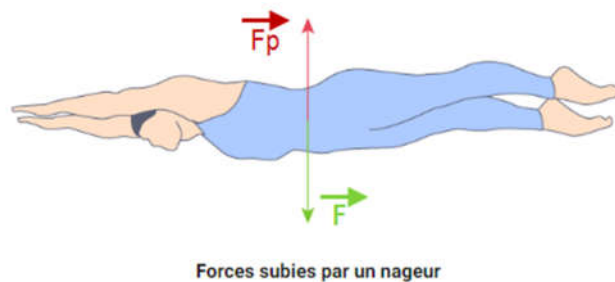


Figure 1 : Force subies par un nageur

$$\begin{aligned}\sum F_{\text{ext}} &= \vec{F} - \vec{F}_p = 0 \\ \Rightarrow \vec{F}_p &= \vec{F} = m \cdot g\end{aligned}\quad (1)$$

Les forces pressantes qu'exerce un fluide sur un corps immergé sont perpendiculaires à chacune de ses parois et leur intensité augmente avec la profondeur. Leur résultante est la poussée d'Archimède F est par symétrie, elle est verticale et orientée vers le haut.

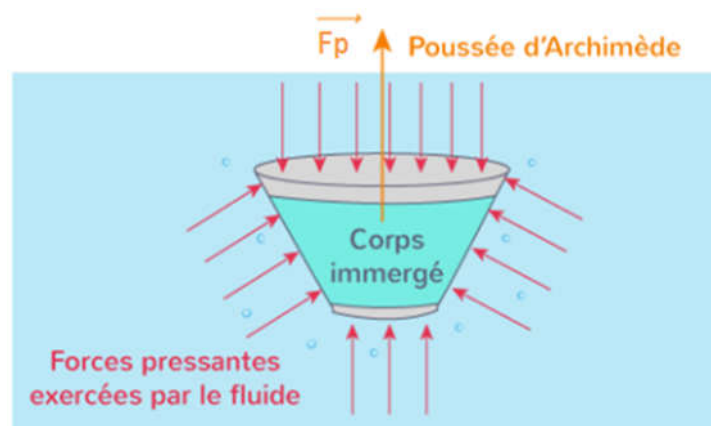
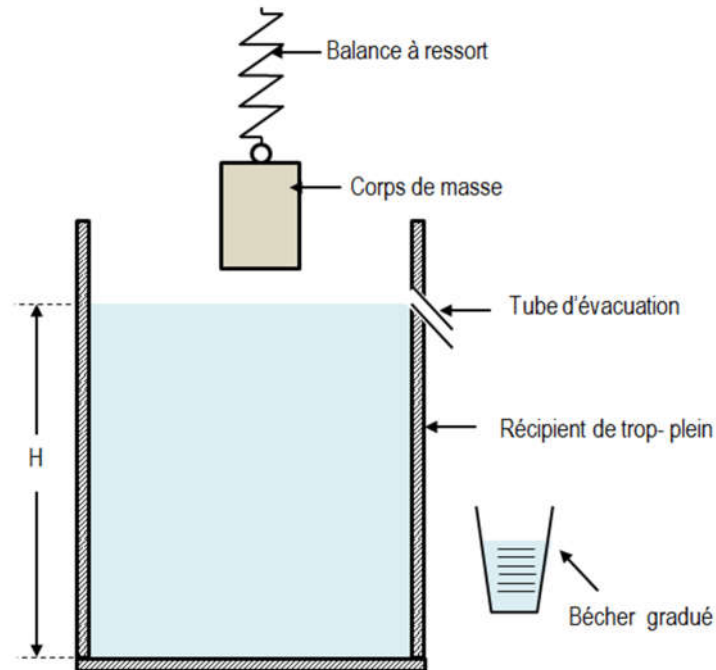


Figure 2 : Forces pressantes d'exerçant sur un corps immergé

2.1.1. Montage expérimental

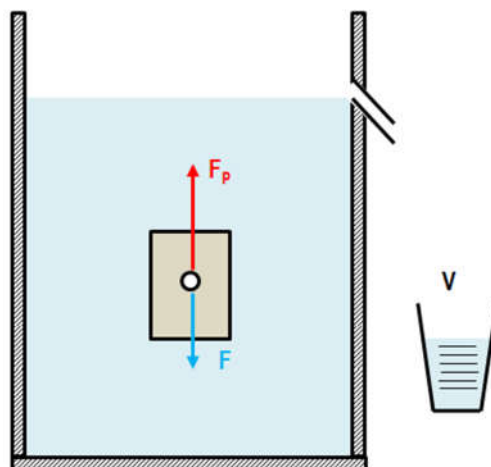
Remplir le récipient de trop-plein d'eau jusqu'à ce que le niveau de liquide H se trouve juste en dessous du tube de sortie. Positionner le bécher vide en dessous du tube d'évacuation. Pesage des trois corps de masse en aluminium, laiton et polyoxyméthylène à l'aide de la balance à ressort : poids F_r



Pour chaque corps de masse :

- immersion complète du corps de masse suspendu à la balance à ressort dans le récipient de trop-plein.
- Lecture du poids $F_{r,e}$ qui s'affiche alors après l'immersion dans l'eau (poids apparent)

Lorsqu'un corps est immergé dans un liquide, une force ascensionnelle F s'applique, qui correspond au poids du liquide refoulé



$$F = \rho \cdot g \cdot V \quad (2)$$

Où ρ : la densité du liquide, g : accélération de gravité et V : volume du corps immergé = volume de l'eau refoulée.

La force ascensionnelle F est toujours dirigée vers le haut et provoque donc une perte du poids apparent sur le corps immergé :

$$F = F_r - F_{r,e} \quad (3)$$

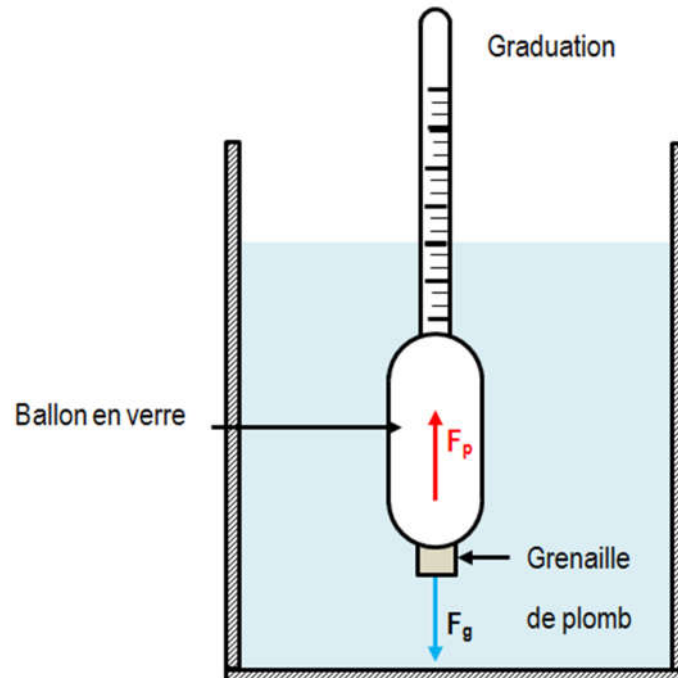
2.2. Densité des liquides

Pour mesurer la densité ρ des fluides, on utilise un densimètre, également appelé aréomètre. Il s'agit d'un ballon en verre fermé rempli de grenaille de plomb au fond et d'air au-dessus.



Figure 3 : densimètre

Sa manipulation est simple : le densimètre est plongé dans le liquide où il reste toujours à la verticale en raison du plomb qu'il contient. Le densimètre plonge plus ou moins profondément dans le liquide selon la densité de ce dernier.



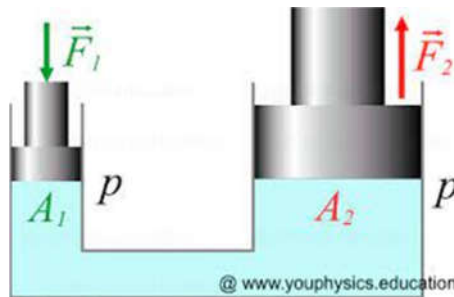
Étant donné que le densimètre flotte, sa force ascensionnelle doit être exactement égale à son poids, c'est-à-dire que son poids apparent est nul :

$$F_{g,liquid} = F_g - F_p = 0 \quad (4)$$

La densité du liquide peut être lue directement sur la graduation.

2.3. Pression hydrostatique dans des liquides au repos

La pression est une grandeur proportionnelle à l'intensité de la force F et inversement proportionnelle à la surface A sur laquelle s'exerce cette force.



$$P = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (5)$$

Dans un réservoir rempli de liquide, la pression augmente uniformément de haut en bas. La pression la plus élevée se trouve au fond. Elle dépend du niveau H de liquide au-dessus du fond du récipient et de la densité ρ du liquide

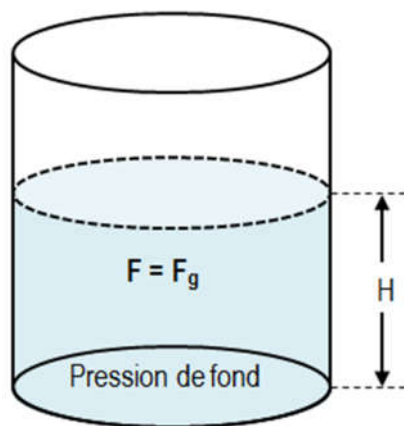


Figure 4 : pression dans un récipient

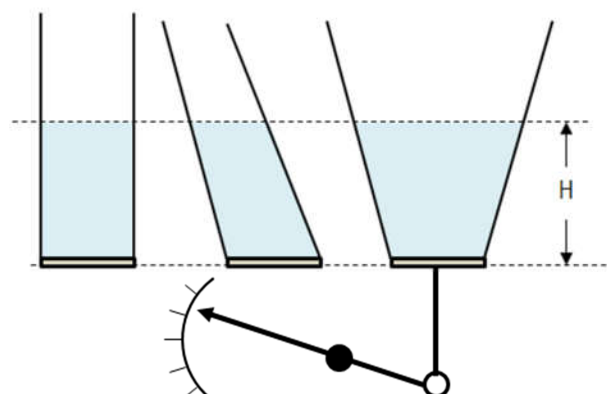
Cette pression hydrostatique se calcule comme suit

$$P = \rho \cdot g \cdot H \quad (6)$$

2.3.1. Montage expérimental

Remplir l'un après l'autre les différents récipients du dispositif de pression de fond avec le même niveau d'eau H .

Comparez entre les résultats lus sur l'échelle graduée



2.4. Pression hydrostatique dans des réservoirs reliés (vases communicants) [1]

On appelle vases communicants des vases de formes quelconques, ouverts à l'air libre et reliés entre eux.

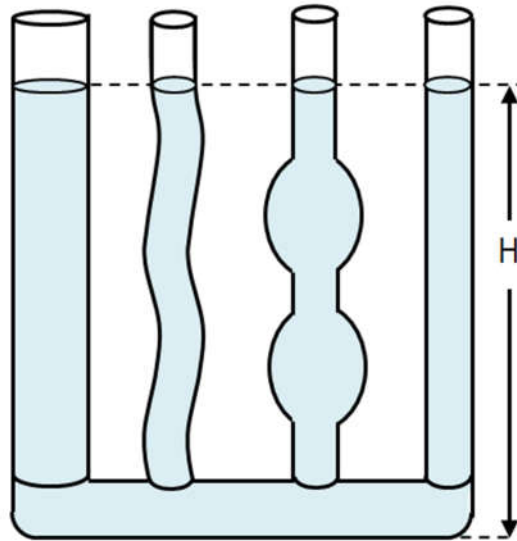


Figure 5 : vases communicants

Lorsqu'on verse un liquide dans des vases communicants, celui-ci coule dans tous les récipients et les niveaux libres du liquide dans les divers récipients se trouvent dans un même plan horizontal.

Explication : Si on verse du liquide supplémentaire dans le tube 2 ci-dessous, on a : $P_1 < P_2$ car $H_1 < H_2$

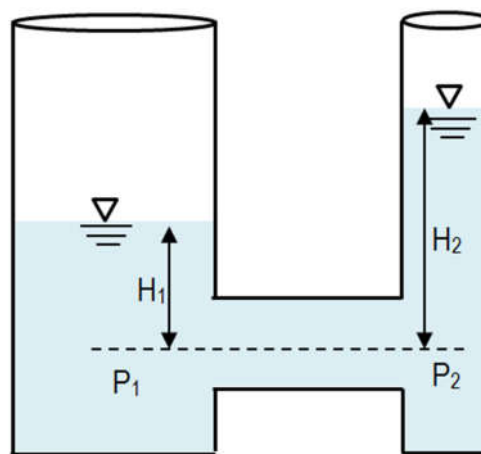


Figure 6 : écoulement d'un liquide dans des vases communicants

Le liquide s'écoule du vase 2 dans le vase 1. L'écoulement s'arrête lorsque $P_1 = P_2$, c.à.d. lorsque $H_1 = H_2$, donc lorsque les surfaces libres dans les deux récipients se trouvent dans le même plan horizontal.

Viscosimètre à chute de bille

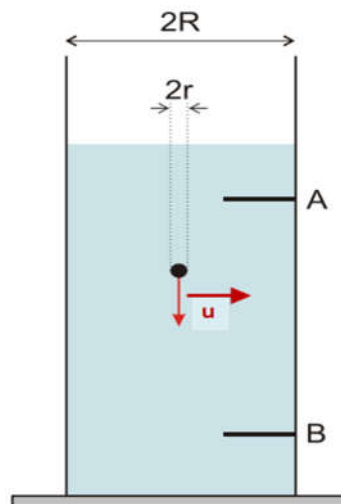


1. Objectif de TP

- Mesurer la viscosité d'un fluide en mesurant la vitesse de chute d'une bille de faible diamètre à travers le liquide.

2. Partie théoriques

Le but de ce TP est de modéliser la force de frottement exercée par un fluide sur un objet sphérique en chute. Le terme modéliser la force de frottement peut ici être compris comme « proposer une expression mathématique à la force de frottement ».

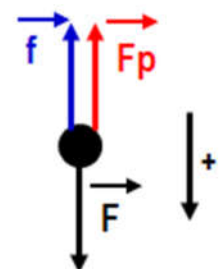


La seconde loi de Newton relie l'accélération du point matériel aux forces extérieures aux quelles celui-ci est soumis. Appliquée à la bille en chute dans un fluide visqueux, dans le référentiel du laboratoire supposé galiléen, cette loi s'écrit :

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F} + \vec{F}_p + \vec{f} \quad (1)$$

Avec :

- $\vec{F}$: poids de la bille.
- $\vec{F}_p$: poussée d'Archimède, force verticale ascendante, résultant des forces pressantes subies par la bille de la part du fluide qui l'entoure. Sa norme est égale au poids du fluide déplacé par l'objet immergé.
- $\vec{f}$: force de frottement.



Le poids $\vec{F}$ de la bille :

$$\vec{F} = m \cdot g = \rho_{\text{bille}} \cdot V_{\text{bille}} \cdot g \quad (2)$$

Avec : ρ_{bille} : masse volumique de la bille et V_{bille} : volume de la bille $V_{\text{bille}} = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$

La poussée d'Archimède $\vec{F}_p$

$$\vec{F}_p = \rho_{\text{liquide}} \cdot V_{\text{bille}} \cdot g \quad (3)$$

En testant la dépendance de la force de frottement vis-à-vis d'autres paramètres (viscosité du fluide, rayon de la bille), il est possible de compléter la modélisation de la force de frottement. Une loi régulièrement utilisée est la loi de Stokes qui peut se mettre sous la forme :

$$\vec{f} = -6\pi \cdot \mu \cdot r \cdot u \quad (4)$$

Avec :

r : le rayon de la bille.

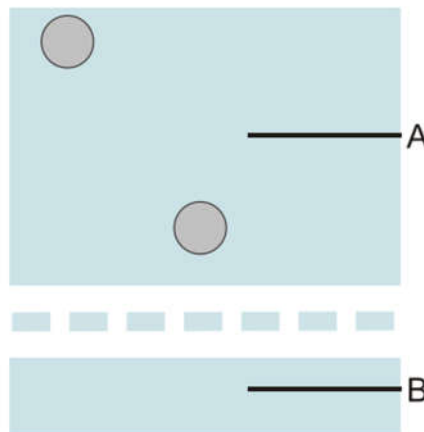
u : vitesse de chute

μ : viscosité dynamique du fluide (en Pa.s, ou poiseuille Pl)

2.1. Le viscosimètre à billes

On lâche une bille en acier de rayon r sans vitesse initiale dans le fluide contenue dans un cylindre de rayon R ($r \ll R$).

Au début de sa chute la bille est accélérée. Nous supposons que sa vitesse v sera constante quand elle aura traversé la distance jusqu'à une première marque A. Entre A et B sa vitesse est constante.



L'expression de la viscosité dynamique est donnée par :

$$\mu = \frac{(\rho_{\text{bille}} - \rho_{\text{fluide}}) \cdot V_{\text{bille}} \cdot g}{6\pi \cdot r \cdot u} \quad (5)$$

Où la vitesse de la bille u est calculée avec :

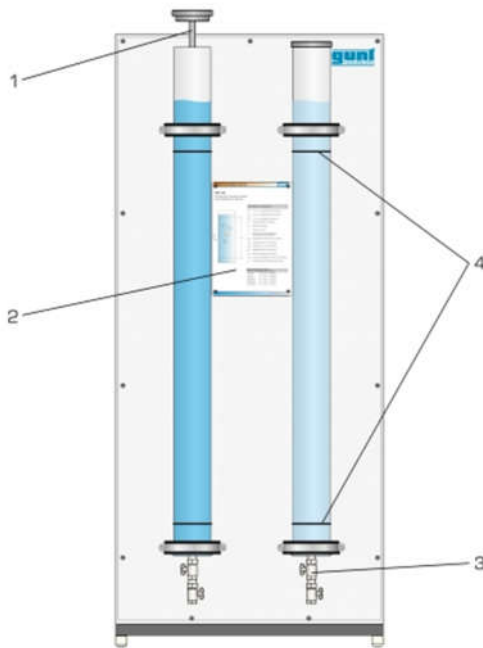
$$u = \frac{H}{t} \quad (6)$$

3. Partie expérimentale

3.1. Description de banc d'essai

L'appareil d'essai sert à étudier les vitesses de descente de corps dans des liquides. On utilise des billes de matières et de volumes différents. On introduit respectivement une bille dans un tube de mesure verticale transparent rempli de liquide. La bille descend au fond sous l'effet de la pesanteur.

Les deux tubes de mesure peuvent être remplis de liquides de viscosités différentes. Ceci permet une comparaison directe des vitesses de descente.



- 1) couvercle avec conduit de guidage,
- 2) panneau d'information,
- 3) sas,
- 4) marquage de la section de mesure ($h = 1 \text{ m}$)

Figure 1 : Banc d'essai : mesure de la viscosité d'un liquide

Différentes billes sont disponibles pour l'étude

Matériel	Diamètre D en mm	Densité de la bille en g/cm^3
Aluminium	10	2.86
Aluminium	5	2.86
Polyoxyméthylène (POM)	10	1.43
Polyoxyméthylène (POM)	5	1.43
Polyamide (PA)	10	1.15

3.2. Présentation des résultats

1) Caractéristiques des billes

Matériel	Diamètre D en mm	Densité de la bille en g/cm^3	Volume V en m^3	Force de poids en N
Aluminium	10	2.86		
Aluminium	5	2.86		
Polyoxyméthylène (POM)	10	1.43		
Polyoxyméthylène (POM)	5	1.43		
Polyamide (PA)	10	1.15		

2) Vitesses de descente

Fluide : eau		Durée de la descente					
Matériel	Diamètre D en mm	t ₁ en s	t ₂ en s	t ₃ en s	t ₄ en s	t ₅ en s	t _{moy} en s
Aluminium	10						
Aluminium	5						
Polyoxyméthylène (POM)	10						
Polyoxyméthylène (POM)	5						
Polyamide (PA)	10						

Fluide : Glycérine		Durée de la descente					
Matériel	Diamètre D en mm	t ₁ en s	t ₂ en s	t ₃ en s	t ₄ en s	t ₅ en s	t _{moy} en s
Aluminium	10						
Aluminium	5						
Polyoxyméthylène (POM)	10						
Polyoxyméthylène (POM)	5						
Polyamide (PA)	10						

4. Travail demandé

- 1) Introduction sur le TP
- 2) Remplir les tableaux à partir des mesures expérimentales effectuées.
- 3) Calculer les vitesses des billes et la viscosité dynamique pour les deux fluides
- 4) Donner une conclusion générale sur TP

Compte-rendu TP

1) Introduction sur le TP

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2) Remplir les tableaux à partir des mesures expérimentales effectuées.

Matériel	Diamètre D en mm	Densité de la bille en g/cm ³	Volume V en m ³	Force de poids en N
Aluminium	10	2.86		
Aluminium	5	2.86		
Polyoxyméthylène (POM)	10	1.43		
Polyoxyméthylène (POM)	5	1.43		
Polyamide (PA)	10	1.15		

Fluide : eau		Durée de la descente					
Matériel	Diamètre D en mm	t ₁ en s	t ₂ en s	t ₃ en s	t ₄ en s	t ₅ en s	t _{moy} en s
Aluminium	10						
Aluminium	5						
Polyoxyméthylène (POM)	10						
Polyoxyméthylène (POM)	5						
Polyamide (PA)	10						

Fluide : Glycérine		Durée de la descente					
Matériel	Diamètre D en mm	t ₁ en s	t ₂ en s	t ₃ en s	t ₄ en s	t ₅ en s	t _{moy} en s
Aluminium	10						
Aluminium	5						
Polyoxyméthylène (POM)	10						
Polyoxyméthylène (POM)	5						
Polyamide (PA)	10						

3) Calculer les vitesses des billes et la viscosité dynamique pour les deux fluides

Matériel	Diamètre D en mm	Eau		Glycérine	
		Vitesse de la bille en m/s	Viscosité dynamique en Pa.s	Vitesse de la bille en m/s	Viscosité dynamique en Pa.s
Aluminium	10				
Aluminium	5				
Polyoxyméthylène (POM)	10				
Polyoxyméthylène (POM)	5				
Polyamide (PA)	10				

4) Conclusion

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Etalonnage d'un manomètre



1. Objectif de TP

✚ Fonctionnement d'un manomètre à tube de Bourdon et d'un manomètre à piston

2. Introduction

Le manomètre à étalonner est du type de Bourdon, le plus répandu en pratique. Le mécanisme de l'appareil est parfaitement visible à travers le cadran transparent, voir (la figure 1). Un tube manométrique à paroi mince de section ovale forme un arc de cercle de 270 degrés. Le tube est fixé rigidement à l'extrémité où l'on applique la pression à mesurer. L'autre est scellée et libre de se mouvoir. Quand la pression est admise dans le tube manométrique, ce dernier a tendance à se redresser. Le mouvement de l'extrémité libre est transmis à un mécanisme qui entraîne une aiguille devant une échelle graduée. Le déplacement de l'aiguille est proportionnel à la pression appliquée. La sensibilité du manomètre est fonction du matériau et des dimensions du tube de Bourdon. On peut réaliser des manomètres de ce type couvrant des gammes de pression très variées. Pour vérifier la précision d'un manomètre de Bourdon, on utilise une balance manométrique composée d'un piston cylindrique lié à un plateau pouvant se déplacer dans un cylindre. En chargeant des masses marquées sur le plateau du piston, on transmet ainsi une pression par le fluide du cylindre. L'appareil utilisé dans ce cas fonctionne avec l'eau, en pratique on emploie le plus souvent de l'huile hydraulique

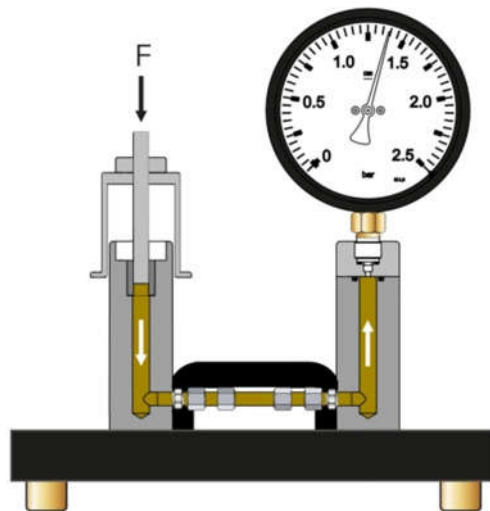


Figure 1 : schéma de l'appareil d'étalonnage du manomètre

3. Partie théorique

Chaque masse placée sur le piston (plus la masse du piston) appliquera une pression (p) sur le liquide. Cette pression est donnée par l'expression suivante :

$$P = \frac{F}{S} = \frac{m \cdot g}{S} \quad (1)$$

Où

P : pression hydrostatique réelle

g : accélération de la pesanteur = 9.81 m/s^2 .

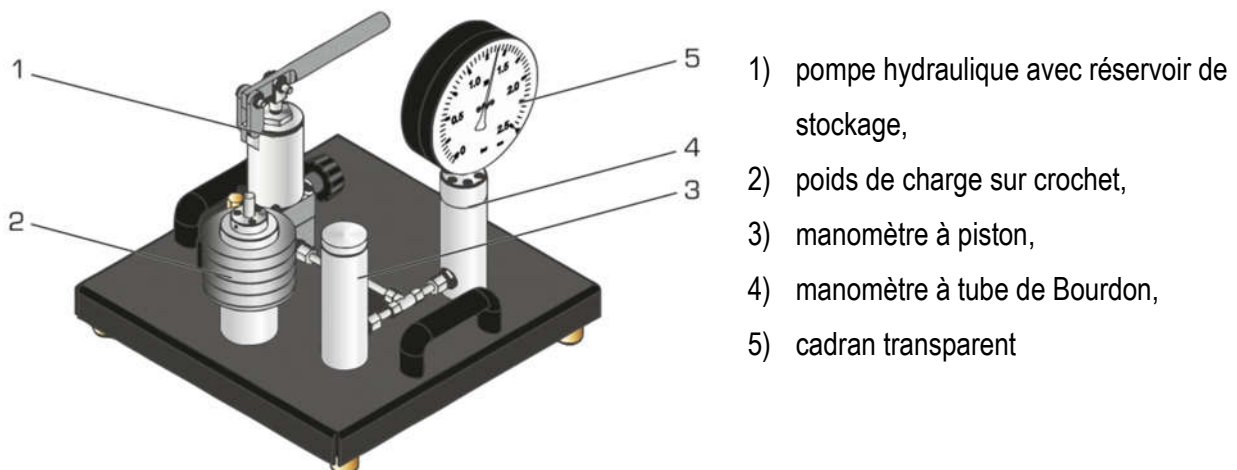
m : masse appliquée plus la masse du piston

S : surface du piston = 315 mm²

4. Partie expérimentale

4.1. Déroulement de l'expérience

La figure 1 donne le schéma de principe de la balance manométrique d'étalonnage, composée d'un piston cylindrique guidé dans un cylindre étanche. Le piston peut être chargé de masses marquées pour produire la pression désirée. La pression est transmise par le fluide au manomètre à étalonner par un tuyau souple et transparent.



- 1) pompe hydraulique avec réservoir de stockage,
- 2) poids de charge sur crochet,
- 3) manomètre à piston,
- 4) manomètre à tube de Bourdon,
- 5) cadran transparent

Pour remplir le cylindre de la balance manométrique, il suffit de démonter le piston et de verser de l'eau jusqu'au trou de trop plein. Pour purger les bulles d'air prises dans le tube transparent, il suffit de pencher l'appareil et de tapoter le tube. Si une petite quantité d'air reste dans l'appareil, elle n'aura aucune influence sur la manipulation. Seule une quantité d'air importante peut se révéler gênante en se comprimant sous l'effet de la pression, ce qui amènerait le piston à venir en contact avec le fond du cylindre.

Après cette opération de remplissage, on remonte le piston en vérifiant qu'il peut se mouvoir dans le cylindre.

On peut maintenant placer des masses marquées sur le plateau du piston, et relever les pressions correspondantes indiquées par le manomètre. On relève les résultats en augmentant le nombre de masses puis en réduisant le nombre des masses. Pour éviter que le piston ne colle dans le cylindre, il est conseillé de le faire tourner légèrement à la main avant de lire la pression sur le manomètre. Pour obtenir de bons résultats, le cylindre doit être vertical. On relèvera la valeur du poids et de la section du piston.

4.2. Remplir les tableaux suivants

			Augmentation de masse «charge »		Diminution de masse «décharge »	
Masse addition (kg)	Masse totale sur le piston (kg)	Pression réelle (P) (N/m ²)	Lecture manométrique (N/m ²)	Erreur relative (%)	Lecture manométrique (N/m ²)	Erreur relative (%)

5. Travail demandé

- 1) Introduction sur le TP
- 2) Tracer les valeurs de pressions lues sur le manomètre en fonction de la pression réelle pour le chargement et de déchargement
- 3) Tracer la précision du manomètre en fonction de la pression réelle
- 4) Donner une conclusion générale

Compte-rendu TP

1) Introduction sur le TP

.....

.....

.....

.....

.....

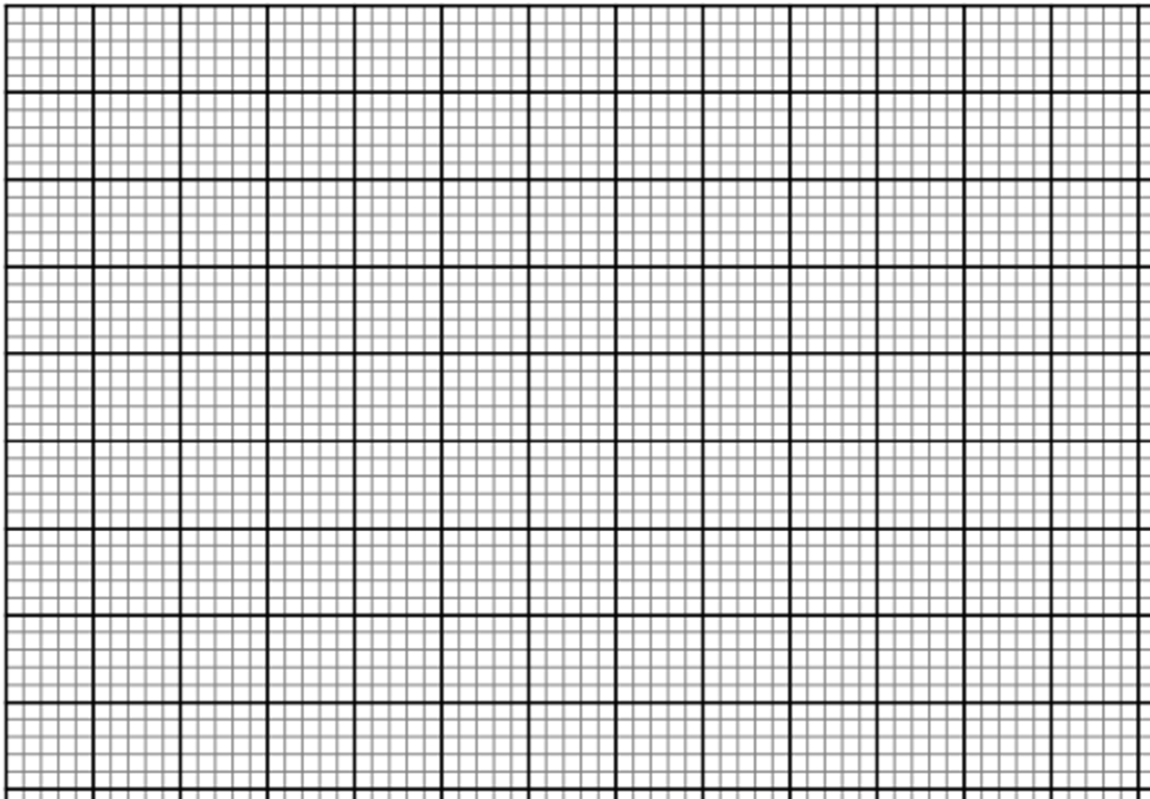
.....

2) Remplir les tableaux à partir des mesures expérimentales effectuées.

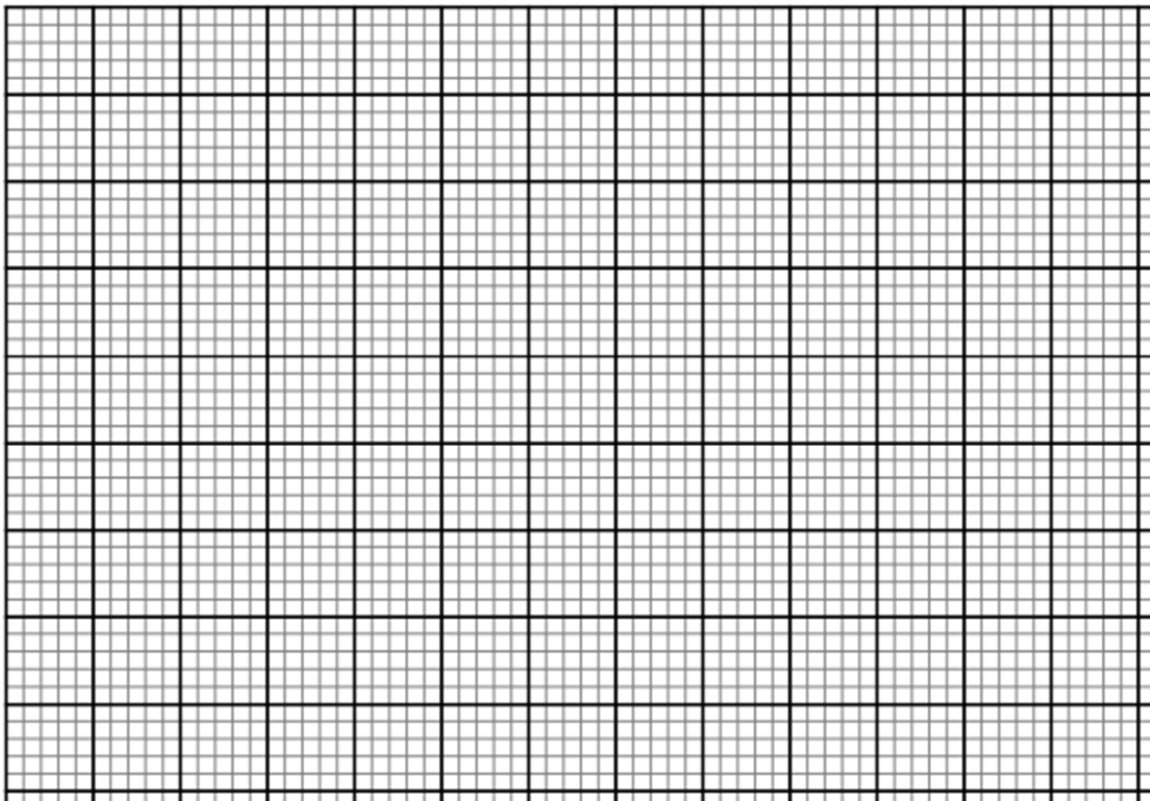
			Augmentation de masse «charge »		Diminution de masse «décharge »	
Masse addition (kg)	Masse totale sur le piston (kg)	Pression réelle (P) (N/m ²)	Lecture manométrique (N/m ²)	Erreur relative (%)	Lecture manométrique (N/m ²)	Erreur relative (%)

3) la courbe de la pression lue sur le manomètre en fonction de la pression réelle

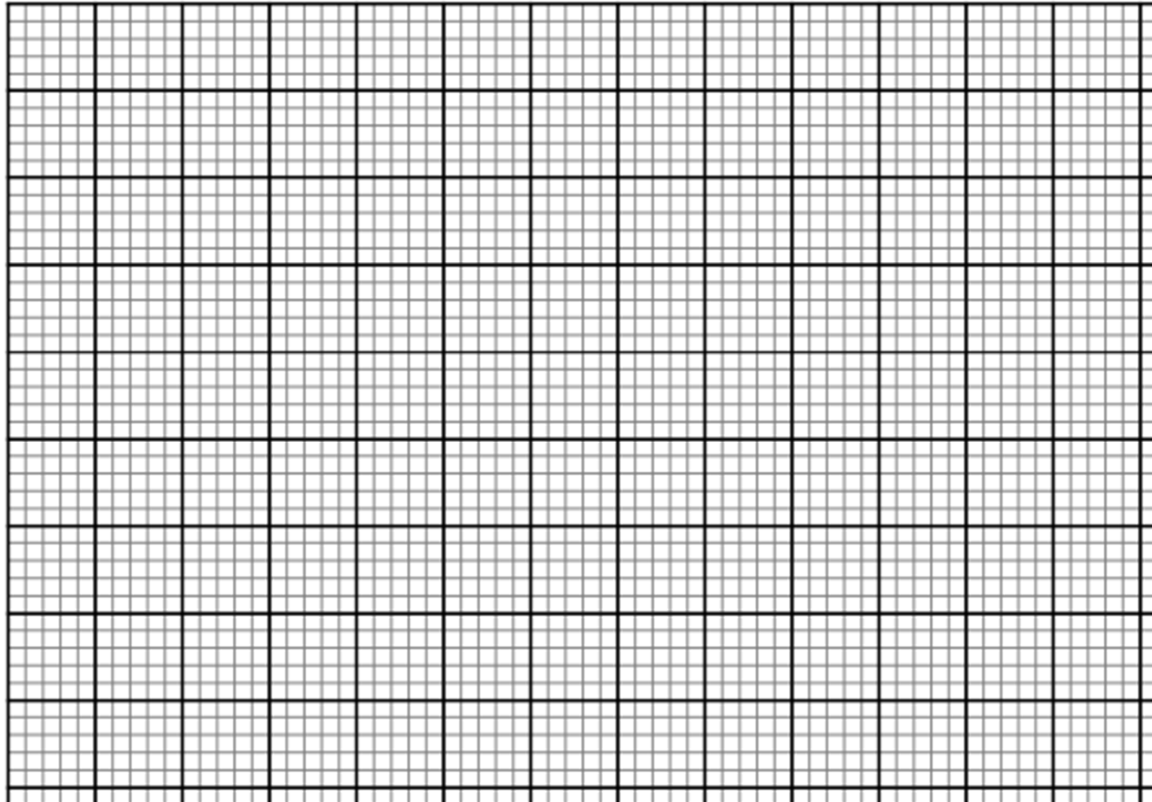
a) pour chargement



b) déchargement



4) la précision du manomètre en fonction de la pression réelle



5) Conclusion

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Statique des fluides

Etude du centre de poussée



1. Objectif de TP

- ✚ Mesure du centre de poussée d'une surface plane verticale à différentes hauteurs d'immersion.
- ✚ Comparaison entre les valeurs mesurées et théoriques

2. Description de banc d'essai

L'appareil d'essai est composé d'un réservoir d'eau transparent inclinable avec une échelle graduée pour la détermination du volume. Une seconde échelle graduée permet d'ajuster l'angle d'inclinaison du réservoir d'eau. À l'aide de différents poids, on fait l'équilibre de l'appareil au moyen d'un bras de levier, puis on détermine la force de compression.

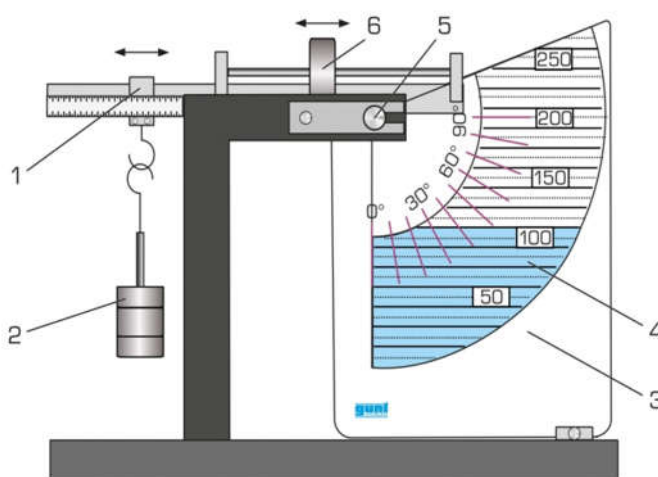


Figure 1 : Description du banc d'essai.

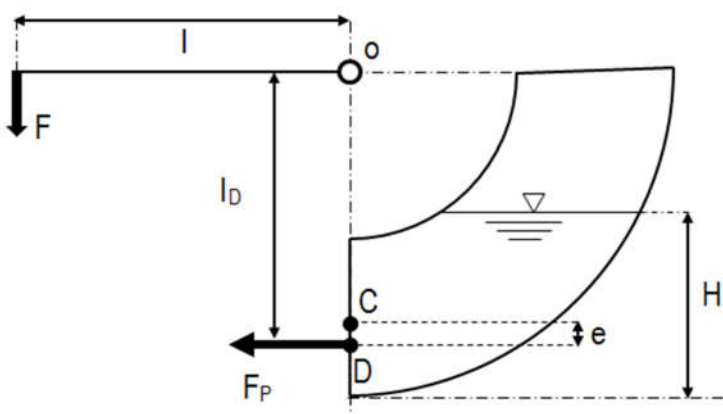
- 1) Support avec échelle graduée (longueur max.: 250mm)
- 2) poids,
- 3) vitre transparente en plastique avec échelle d'angle et échelle de niveau,
- 4) réservoir d'eau (inclinable: 0°...90°, contenu: 0...1,8L, échelle: 0...250mm et surface effective, max. 75x100mm),
- 5) axe rotatif,
- 6) poids déplaçable

Force hydrostatique: la pression **hydrostatique** «la pression de la gravité P_{hyd} » exercée par un fluide au repos sur une surface immergée en un point donné.

Centre de pression: c'est un point sur la surface immergée où la force de pression hydrostatique agit (point d'application de la force appelé aussi centre de poussée)

3. Réservoir d'eau en position verticale ($\theta = 0^\circ$)

3.1. Détermination du centre de poussée



Avec :

H : niveau d'eau

e : distance entre le centre de poussée D et le Barycentre C de la surface effective

l_D : la distance entre le centre de poussée et le centre de rotation

F : poids suspendu

F_P : la force de remplacement

Figure 2 a : Représentation de la force hydrostatatique et le centre de poussée ($\theta = 0^\circ$).

Pour le niveau d'eau H est inférieur à la hauteur de la surface effective (100 mm), le profil de la pression est traingulaire (Fig 2.b) :

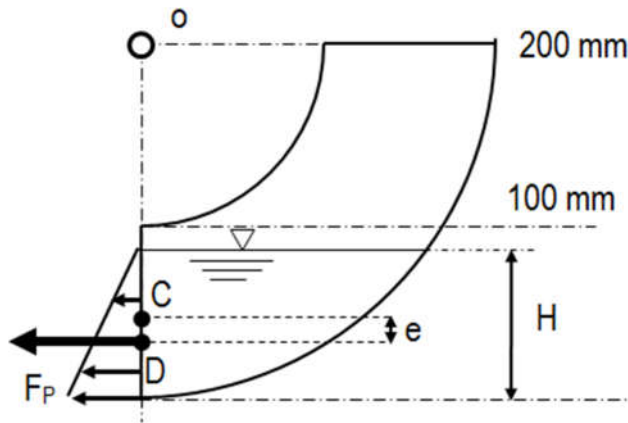


Figure 2.b : Représentation du profil de pression pour le niveau d'eau inférieur à 100 mm.

La position du centre de poussée est donnée par :

$$e = \frac{1}{6}H \quad (1)$$

La distance entre le centre de poussée et le centre de rotation est :

$$I_b = (200\text{mm}) - \frac{1}{3}H \quad (2)$$

Pour le niveau d'eau H est supérieur à la hauteur de la surface effective (100 mm), le profil de la pression est trapézoidale (Fig 2.c) :

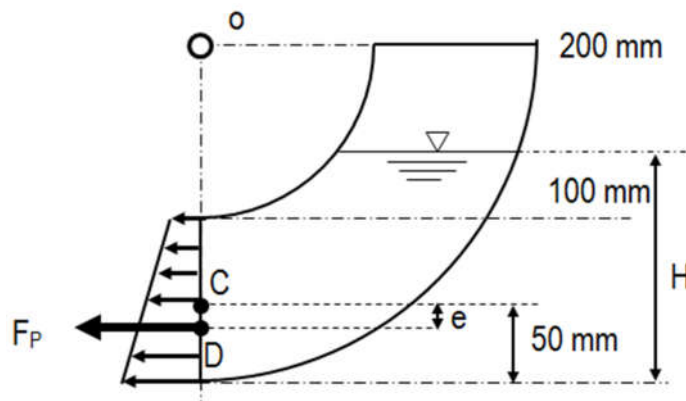


Figure 2.c : Représentation du profil de pression pour le niveau d'eau supérieur à 100 mm.

La position du centre de poussée est donnée par :

$$e = \frac{1}{12} \frac{(100\text{mm})^2}{H - (50\text{mm})} \quad (3)$$

La distance entre le centre de poussée et le centre de rotation

$$I_b = (150\text{mm}) + e \quad (4)$$

3.2. Détermination de la force de Poussée

La force de poussée hydrostatique correspond à la pression hydrostatique au barycentre C de la surface effective. Pour cette raison, on doit à nouveau faire une distinction en fonction du niveau d'eau H.

Pour $H < 100 \text{ mm}$, la force de remplacement donnée par :

$$F_p = \rho \cdot g \cdot \frac{H}{2} \cdot S_{\text{eff}} \quad (5)$$

Avec S_{eff} : aire de la surface effective $S_{\text{eff}} = H \times (75 \text{ mm})$

Pour $H > 100 \text{ mm}$, la force de poussée hydrostatique donnée par :

$$F_p = \rho \cdot g \cdot (H - (50 \text{ mm})) S_{\text{eff}} \quad (6)$$

$$S_{\text{eff}} = (100 \text{ mm}) \times (75 \text{ mm})$$

4. Réservoir d'eau en position incliné (θ)

4.1. Détermination du centre de poussée

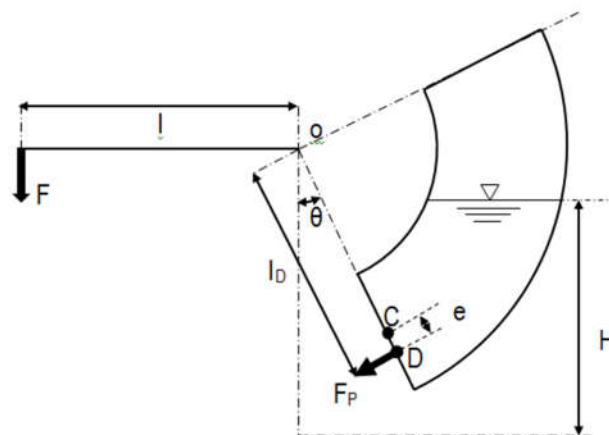


Figure 3 a : Représentation de la force hydrostatique et le centre de poussée ($\theta \neq 0^\circ$).

Pour le réservoir d'eau incliné, on obtient pour un niveau d'eau inférieur à H_a un profil triangulaire pour la pression, par contre, si le niveau supérieur à H_a , on obtient un profil trapézoïdal.

Pour $H < H_a$

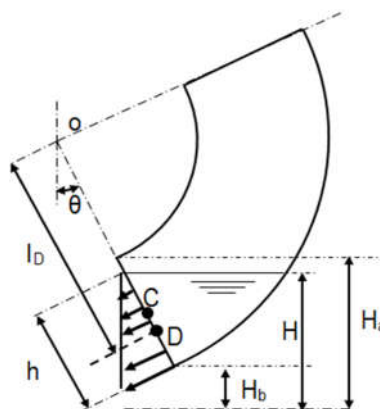


Figure 3.b : Représentation du profil de pression pour le niveau d'eau inférieur à H_a .

La position du centre de poussée est donnée par :

$$h = \frac{H - H_b}{\cos \theta} \quad (7)$$

$$e = \frac{1}{6} h \quad (8)$$

La distance entre le centre de poussée et le centre de rotation

$$I_D = (200\text{mm}) - \frac{1}{3} h \quad (9)$$

Pour $H > H_a$

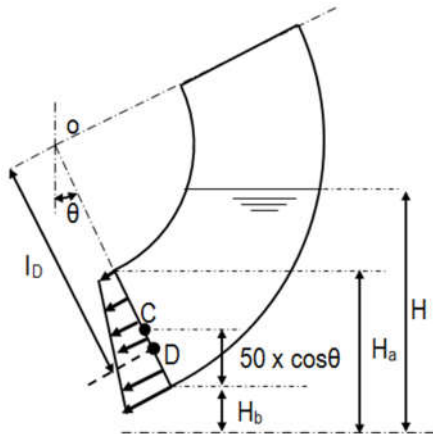


Figure 3.c : Représentation du profil de pression pour le niveau d'eau supérieur à H_a .

La position du centre de poussée est donnée par :

$$e = \frac{1}{12} \frac{(100\text{mm})^2}{\frac{H - H_b}{\cos \theta} - (50\text{mm})} \quad (10)$$

La distance entre le centre de poussée et le centre de rotation

$$I_D = (150\text{mm}) + e \quad (11)$$

4.2. Détermination de la force de poussée

Pour $H < H_a$, la force de poussée hydrostatique est donnée par :

$$F_p = \rho \times g \times \frac{H - H_b}{2} \times S_{\text{eff}} \quad (12)$$

Avec S_{eff} : l'aire de la surface effective $S_{\text{eff}} = h \times (75 \text{ mm})$

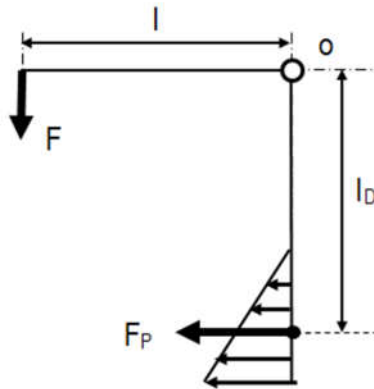
Pour $H > H_a$, la force de poussée hydrostatique donnée par :

$$F_p = \rho \times g \times ((H - H_b) - (50\text{mm})) S_{\text{eff}} \quad (13)$$

$$S_{\text{eff}} = (100 \text{ mm}) \times (75 \text{ mm})$$

5. Equilibre des moments

On peut établir et contrôler un équilibre des moments autour du centre de rotation o :



$$\sum M_{(o)} = 0 \Rightarrow F \times l = F_p \times l_D \quad (14)$$

6. Partie expérimentale

Angle θ°	Niveau d'eau le plus bas H_b [mmCE]		Niveau d'eau le plus bas H_a [mmCE]	
0				
Bras de levier l [mm]	Poids suspendu F [N]	Niveau d'eau lu H [mm]	Bras de levier calculé l_D [mm]	Force de poussée hydrostatique F_P [N]

Angle θ°	Niveau d'eau le plus bas H_b [mmCE]		Niveau d'eau le plus bas H_a [mmCE]	
20				
Bras de levier l [mm]	Poids suspendu F [N]	Niveau d'eau lu H [mm]	Bras de levier l [mm]	Poids suspendu F [N]

Angle θ°	Niveau d'eau le plus bas H_b [mmCE]		Niveau d'eau le plus bas H_a [mmCE]	
40				
Bras de levier l [mm]	Poids suspendu F [N]	Niveau d'eau lu H [mm]	Bras de levier l [mm]	Poids suspendu F [N]

7. Travail demandé

- 1) Introduction sur le TP.
- 2) Calculer la distance entre le centre de poussée et le centre de rotation et la force de poussée hydrostatique F_P [N].
- 3) Tracer la variation de la force de poussée hydrostatique F_P [N] en fonction de la distance du bras de levier l pour les trois cas différents.
- 4) Interpréter les graphes.
- 5) Donner une conclusion générale sur le TP.

Compte-rendu TP

1) Introduction sur le TP

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

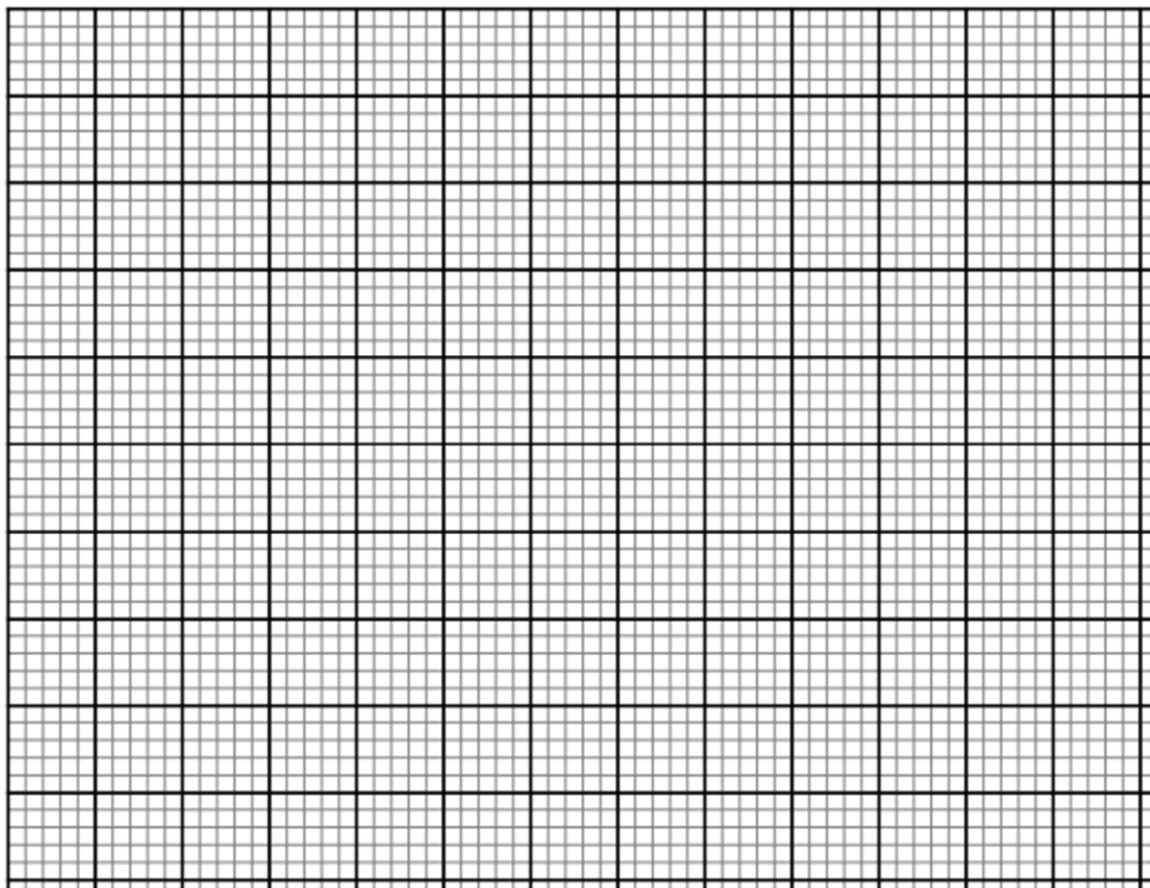
2) Remplir les tableaux à partir des mesures expérimentales effectuées.

Angle θ°	Niveau d'eau le plus bas H_b [mmCE]		Niveau d'eau le plus bas H_a [mmCE]	
0				
Bras de levier l [mm]	Poids suspendu F [N]	Niveau d'eau lu H [mm]	Bras de levier l [mm]	Poids suspendu F [N]

Angle θ°	Niveau d'eau le plus bas H_b [mmCE]		Niveau d'eau le plus bas H_a [mmCE]	
20				
Bras de levier l [mm]	Poids suspendu F [N]	Niveau d'eau lu H [mm]	Bras de levier l [mm]	Poids suspendu F [N]

Angle θ°	Niveau d'eau le plus bas H_b [mmCE]		Niveau d'eau le plus bas H_a [mmCE]	
40				
Bras de levier l [mm]	Poids suspendu F [N]	Niveau d'eau lu H [mm]	Bras de levier l [mm]	Poids suspendu F [N]

3) Tracer la variation de la force de poussée hydrostatique F_P [N] en fonction de la distance du bras de levier l pour les trois cas différents



Graph 1 : variation de la force de poussée hydrostatique F_P [N] en fonction de la distance du bras de levier l

4) Interprétation du graphe 1

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5) Conclusion

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Cinématique des fluides

Ecoulement autour d'un obstacle

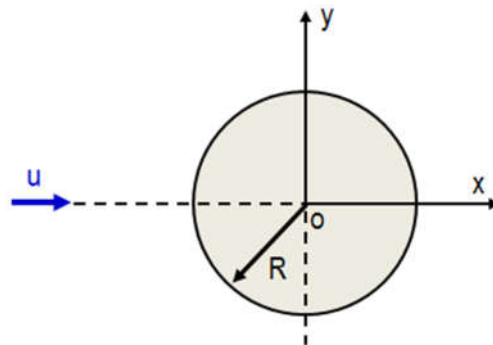


1. Objectif de TP

- ✚ Etude et observation des lignes de courant de l'écoulement plan laminaire autour de différents profils par un liquide « fluide incompressible »
- ✚ Etude et observation des lignes de courant de l'écoulement bidimensionnel de fluide incompressible en présence des sources et des puits.
- ✚ Détermination des paramètres des lignes de courant de l'écoulement bidimensionnel autour d'un cercle.

2. Partie théoriques

D'après la théorie du mouvement bidimensionnel « plan » de fluide parfait, autour de corps qui représentent l'obstacles, on peut déterminer l'équation de mouvement « la fonction potentiel Φ , et la fonction de courant Ψ » autour un cylindre circulaire de rayon (R), en appliquant le principe de superposition d'un écoulement uniforme rectiligne de vitesse u , et d'un doublet « une source plus un puits de même puissance ».



En plaçant l'origine des axes de coordonnées x, y au centre géométrique du cylindre circulaire soient :

1) Cas de l'écoulement rectiligne uniforme

$$\begin{aligned}\Phi_1 &= u \cdot x \\ \psi_1 &= u \cdot y\end{aligned}\quad (1)$$

2) Cas du doublet

$$\begin{aligned}\Phi_2 &= \frac{u \cdot R^2 \cdot x}{x^2 + y^2} \\ \psi_2 &= -\frac{u \cdot R^2 \cdot y}{x^2 + y^2}\end{aligned}\quad (2)$$

Donc la superposition de ces écoulement donne les caractéristiques de l'écoulement bidimensionnel autour le cylindre circulaire, la fonction potentiel résultante

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = u \cdot x + \frac{u \cdot R^2 \cdot x}{x^2 + y^2} = u \cdot x \left(1 + \frac{R^2}{x^2 + y^2} \right) \quad (3)$$

La fonction de courant résultante

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 = u \cdot y - \frac{u \cdot R^2 \cdot y}{x^2 + y^2} = u \cdot y \left(1 - \frac{R^2}{x^2 + y^2} \right) \quad (4)$$

En coordonnées polaires

$$\begin{aligned}\Phi &= u \left(r + \frac{R^2}{r} \right) \cos \theta \\ \Psi &= u \left(r - \frac{R^2}{r} \right) \sin \theta\end{aligned}\quad (5)$$

3. Partie expérimentale

3.1. Description de l'appareil

L'aspect général de l'appareil Hèle-show est représenté sur la figure 1. L'élément principal de la cuve Hèle-show est l'espace entre deux plateaux qui représente une couche très mince d'épaisseur 0.76 mm, de forme rectangulaire de dimensions (330 x 254 mm²).

L'eau est envoyée dans cet espace après avoir une grille de stabilisation à mailles fines. Bien que la vitesse de l'eau dans la couche ne soit pas uniforme suivant la coordonnée perpendiculaire au plan des plateaux à cause de la viscosité (qui ne peut pas être négligée dans une couche aussi fine), au moyenne cet écoulement peut être considéré comme étant du fluide parfait. Sur le plateau supérieur qui est en verre, est dessiné le réseau des coordonnées pour le repérage des lignes de courant. Dans le plateau inférieur juste après le canal d'alimentation sont faits les orifices par lesquels on envoie dans la cuve le colorant qui sert à visualiser les lignes de courant. De l'autre côté de la cuve il y a le canal d'échappement muni, lui aussi, de la grille à mailles fines. Au milieu du plateau inférieur sont faits quatre orifices qui peuvent représenter les sources, les puits ou le dipôle hydrodynamique selon le schéma d'alimentation et de vidange. Le colorant est envoyé dans la cuve par les tuyaux en plastique à partir du réservoir fixé en haut de la tige verticale assemblée avec l'appareil. Le colorant s'écoulant de réservoir passe par la soupape qui exclut l'écoulement inverse du colorant sous l'action de surpression d'eau dans la cuve.

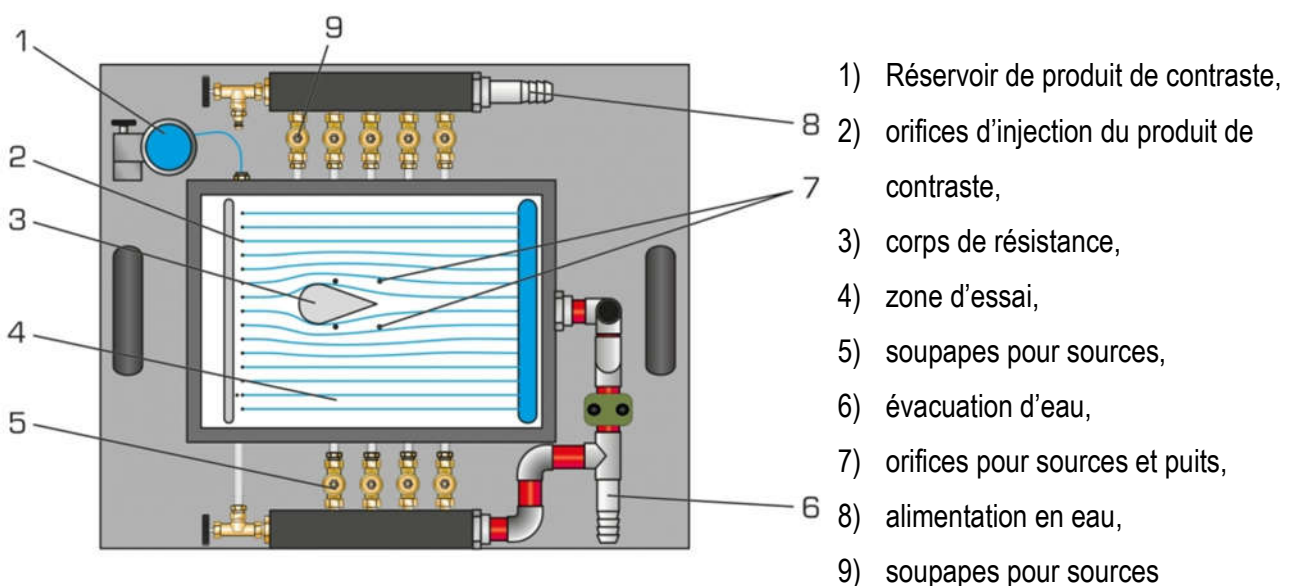


Figure 1 : Description du banc d'essai.

Les différents corps de résistance et de modifications de section



- Modèles fournis auto ;
- Triangle ;
- Carré ;
- 2 triangles pour modification de section ;
- 2 demi-cercles ;
- Goutte ;
- corps profilé ;
- profil d'aube directrice.

3.2. Procédure expérimentale

- 1) Faire brancher le tube d'alimentation de l'appareil avec le banc hydraulique par le tuyau en plastique.
- 2) Deviser les écrans sur le cadre presseur et enlever le plateau supérieur.
- 3) Fermer tous les robinets à trois voies sur le plateau de commande de l'appareil.
- 4) Mettre en marche la pompe du banc hydraulique et alimenter l'appareil d'eau un débit assez élevé.
- 5) Ouvrir les crampons à écrou sur la soupape à son bout libre et du côté de l'appareil et attendre que l'eau s'écoule par le bout libre.
- 6) Ouvrir le robinet du réservoir du colorant et en suite ouvrir très légèrement le crampon au moment où le colorant apparaît dans le bout libre de la soupape.
- 7) Fermer le crampon du côté libre de la soupape
- 8) Mettre le disque en caoutchouc au milieu du plateau inférieur.
- 9) Mettre le plateau supérieur en procédant de manière à éviter les boules d'air dans le canal de visualisation
- 10) Diminuer le débit d'eau pour qu'elle s'écoule faiblement par les trous d'échappement.
- 11) Ouvrir légèrement sur la soupape le crampon du côté du colorant. Avec cela, le colorant s'écoulent par les orifices dans le canal visualise les lignes de courant.
- 12) En variant les débits de l'eau et du colorant afin de régler l'épaisseur des jets du colorant à 0.5 mm environ.
- 13) Avec les axes de référence, l'axe des (x) étant l'axe passant par le centre du disque parallèlement au flux moyen de l'eau, et l'axe des (y) passant par le centre du disque perpendiculairement au flux moyen mesurer la coordonnée (y) en fonction de (x) pour différentes lignes de courant. On prendra quatre lignes à gauche du disque (les lignes (-4, -3, -2, -1)) et aussi quatre lignes à droite du disque (les lignes (1, 2, 3, 4)). si l'on observe une ligne qui touchant le disque et se séparant en deux glisse le long du périmètre du disque, ce sera la ligne (o) pour laquelle on doit avoir $\psi = 0$.
 - Ecrire les résultats des mesures dans le tableau 1
- 14) Fermer les crampons sur la soupape et le robinet sur le réservoir du colorant
- 15) Fermer la vanne du banc hydraulique, et arrêter la pompe

16) Desserrer les écrans sur le cadre presseur.

3.3. Présentation des résultats

X(cm)	Numéros des lignes de courant																	
	- 4		- 3		- 2		- 1		0		1		2		3		4	
	y	ψ	y	ψ	y	ψ	Y	ψ	y	ψ	Y	ψ	y	ψ	y	ψ	y	ψ
16																		
14																		
12																		
10																		
8																		
6																		
4																		
2																		
0																		
-2																		
-4																		
-6																		
$\overline{\psi}$																		
$\Delta\psi$																		

Tableau 1

X(cm)	Numéros des lignes équipotentielles																	
	- 4		- 3		- 2		- 1		0		1		2		3		4	
	y	Ψ	y	Ψ	y	Ψ	y	Ψ	y	Ψ	Y	Ψ	y	Ψ	y	Ψ	y	Ψ
14																		
12																		
10																		
8																		
6																		
4																		
2																		
0																		
-2																		
-4																		
-6																		

-8																		
-10																		
-12																		
-14																		

Tableau 2

Dynamique des fluides

Mesure de débit



1. Objectif de TP

- ✚ Comparaison des méthodes indirectes de mesure de débit, à savoir, le tube de venturi, le tube de diaphragme et le rotamètre avec la méthode directe.

2. Partie théoriques

La mesure du débit est un aspect important en métrologie. On dispose de différentes méthodes pour la mesure du débit des fluides dans des conduites. Parmi les méthodes, on compte par exemple le **rotamètre**, le **tube de Venturi** ou un **tube de diaphragme**. Ces méthodes de mesure de débit sont dites mesures indirectes.

Pour déterminer la distribution de la pression dans le tube de Venturi ou dans le tube de diaphragme, on utilise un manomètre à six tubes piézométriques.

L'application de l'équation de Bernoulli entre la section contractée de l'écoulement et la section en amont, de la loi de l'hydrostatique, on déduit l'équation suivante pour mesurer le débit par le venturi et diaphragme

$$Q_{v(\text{théorique})} = S_1 \sqrt{\frac{2g(h_2 - h_1)}{1 - \left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2}} \quad (1)$$

2.1. Coefficient de débit C_d

En pratique, le fluide n'est pas parfait. C'est pourquoi les valeurs mesurées de Q_v sont légèrement inférieures à celles calculées par l'équation (1) et il est coutume de traduire cet écart par :

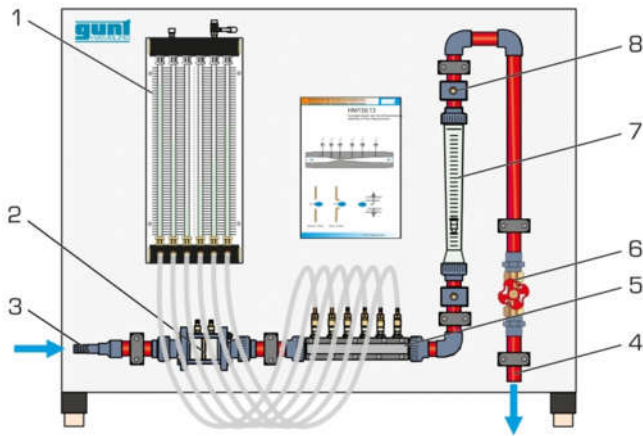
$$C_d = \frac{Q_{v(\text{réel})}}{Q_{v(\text{théorique})}} \quad (2)$$

Où C_d est un coefficient sans dimension appelé souvent coefficient de débit ($C_d < 1$), qui est fonction de la géométrie du tube et du nombre de Reynolds Re de l'écoulement.

3. Partie expérimentale

3.1. Banc d'essai

Le banc d'essai comprend une section de tuyau avec un tube de Venturi transparent, un orifice de mesure ou une tuyère de mesure et un rotamètre. Le tube de Venturi, le tube de diaphragme et le rotamètre sont utilisés pour mesurer le débit, rappelons que ces méthodes de mesures de débit sont dites méthodes indirectes.



- 1) Manomètre à 6 tubes piézométriques,
- 2) Orifice de mesure ou tuyère de mesure,
- 3) Alimentation en eau,
- 4) Drain d'eau,
- 5) Tube de Venturi,
- 6) Soupape d'ajustage du débit,
- 7) Rotamètre,
- 8) Point de mesure

Figure 1 : Banc d'essai : mesure de débit et répartition de pression dans le tube de Venturi

3.2. Tube de venturi

On utilise un tube de Venturi (convergent- divergent) avec 6 points de prise de pression. La figure 2 donne les dimensions du tube de Venturi.

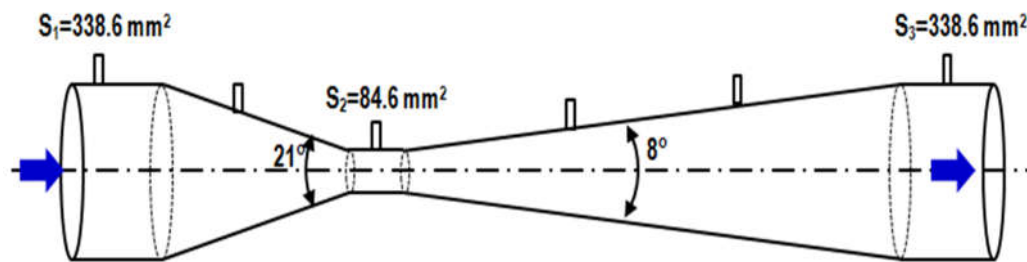


Figure 2 : Dimensions du tube de venturi

3.3. Tube de diaphragme

On utilise un diaphragme de mesure avec 2 points de prise de pression

- Tuyère de mesure: $S_1 = 18,5\text{mm}$
- Orifice de mesure: $S_2 = 14\text{mm}$

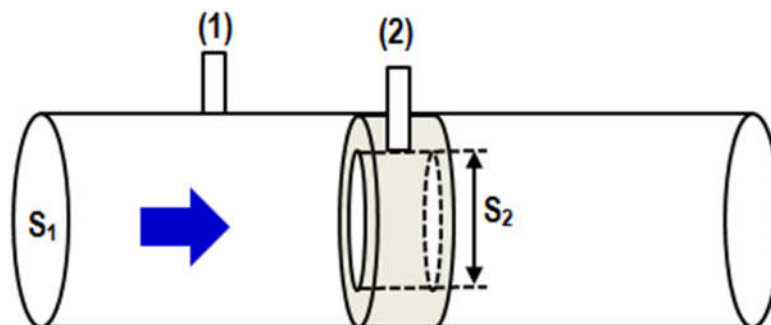


Figure 3 : Dimensions du tube de diaphragme

3.4. Remplir les tableaux suivants

N°	Rotamètre	Mesure du débit Méthode directe		Tube de venturi Méthode indirecte		Tube de diaphragme Méthode indirecte	
		Volume (L)	Temps (s)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

4. Travail demandé

- 1) Introduction sur le TP
- 2) Remplir les tableaux à partir des mesures expérimentales effectuées.
- 3) Calculer le débit réel, et les débits mesurés par le venturi et le tube diaphragme
- 4) Calculer l'erreur relative par rapport le débit réel
- 5) Tracer sur le même graphe les débits Q_v rotamètre ; Q_v venturi et Q_v diaphragme en fonction du débit réel.
- 6) Donner une conclusion générale sur TP

Compte-rendu TP

1) Introduction sur le TP

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2) Remplir les tableaux à partir des mesures expérimentales effectuées.

N°	Rotamètre	Mesure du débit Méthode directe		Tube de venturi Méthode indirecte		Tube de diaphragme Méthode indirecte	
		Volume (L)	Temps (s)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

3) Calculer le débit réel, les débits mesurés par le venturi et le tube diaphragme et l'erreur relative par rapport le débit réel

N°	Volume (L)	Temps (s)	$Q_{\text{réel}}$ (m ³ /s)	Tube de venturi		Tube de diaphragme	
				Q (m ³ /s)	Erreur	Q (m ³ /s)	Erreur
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

Interprétation du graphe 1

.....

.....

.....

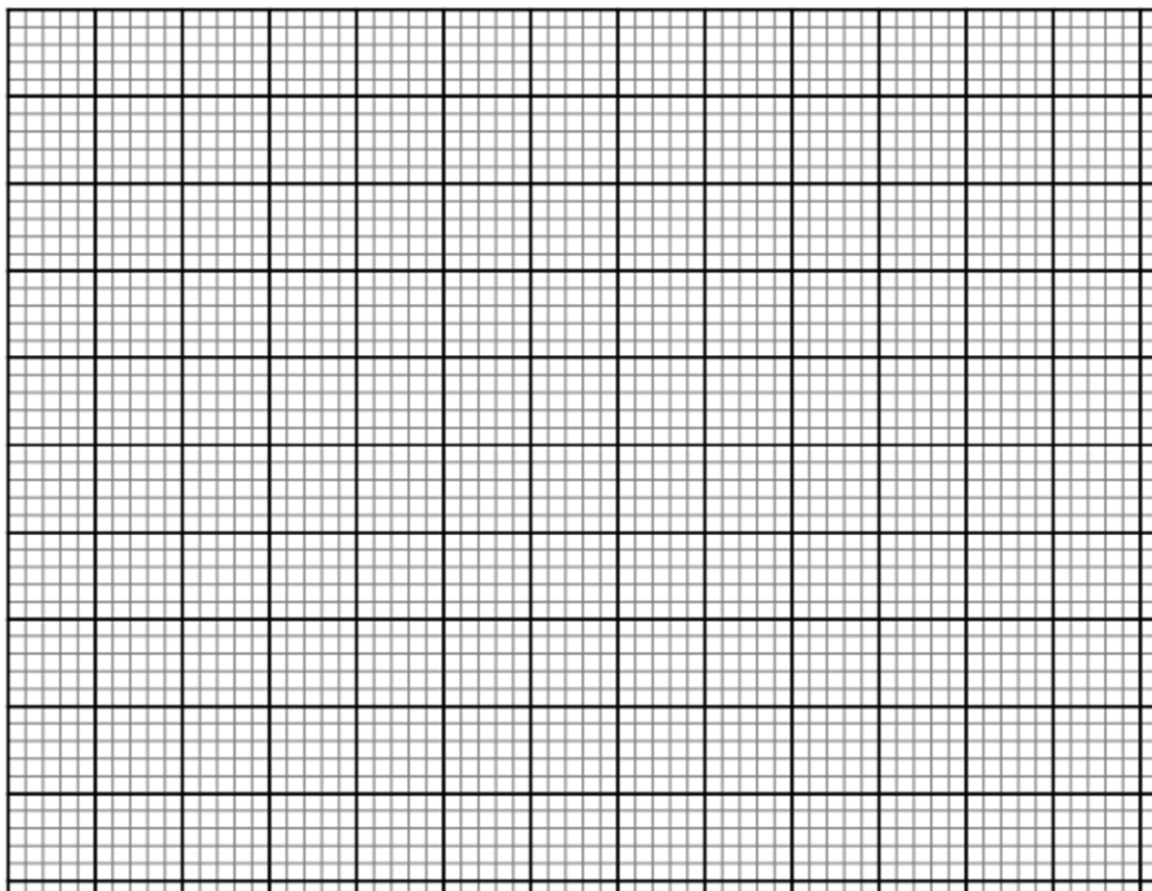
.....

.....

.....

.....

.....



Graphe 1 : les débits $Q_{\text{rotamètre}}$; Q_{venturi} et $Q_{\text{diaphragme}}$ en fonction du débit réel

4) Conclusion

.....

.....

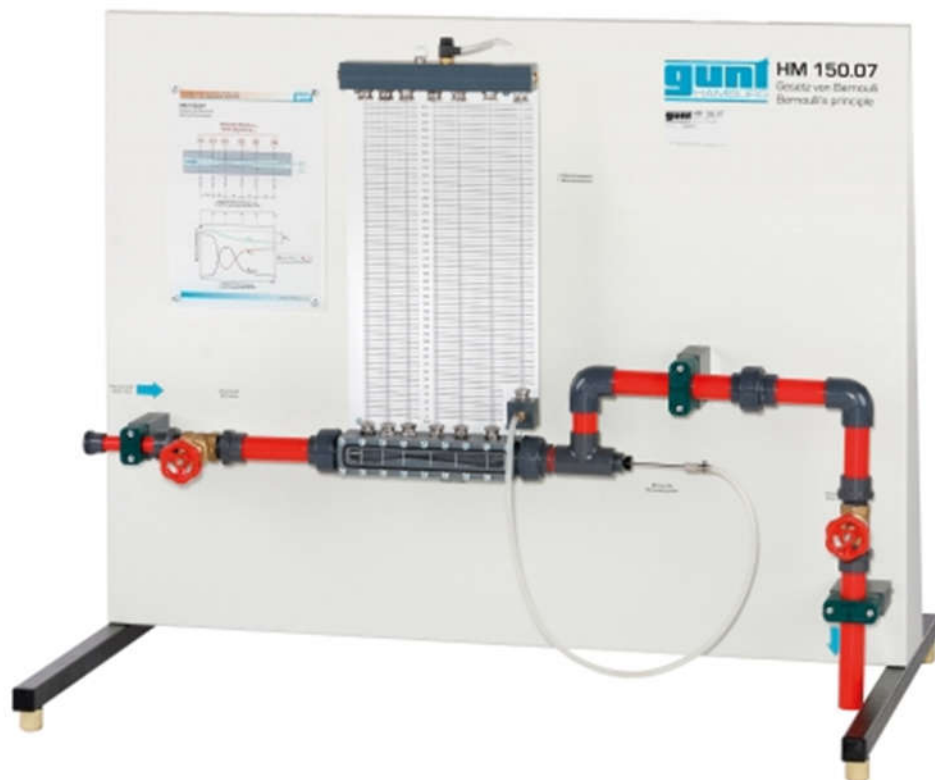
.....

.....

.....

.....

Théorème de Bernoulli



1. Objectif de TP

- ✚ Étude et vérification du théorème de Bernoulli
- ✚ Répartitions de la pression statique et de la pression totale le long du tube de Venturi

2. Partie théorique

Le théorème de Bernoulli exprime la conservation de l'énergie mécanique totale (cinétique, de pression et potentielle). On peut aussi dire qu'il décrit la relation entre la vitesse et la pression d'écoulement d'un fluide. Ainsi, une augmentation de la vitesse du fluide circulant entraîne une chute de pression statiques et inversement. La pression totale (P_T) du fluide qui est la somme de la pression statique et de la pression dynamique, reste toujours constante.

La **pression dynamique** : 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).

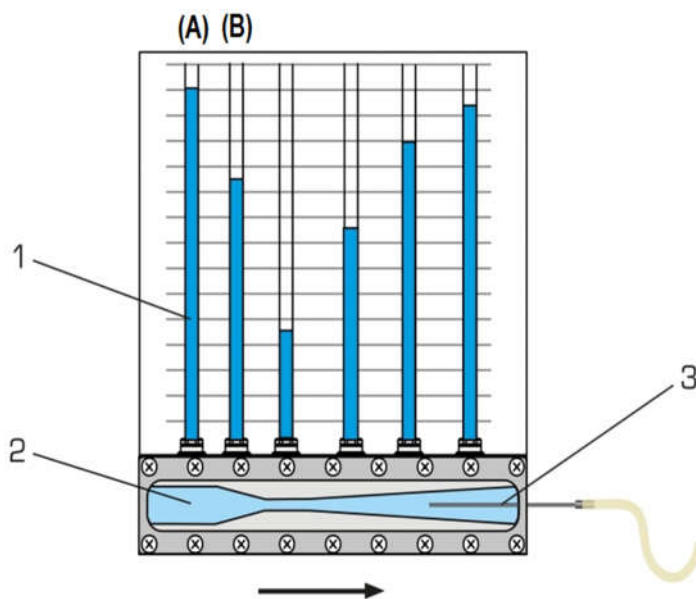
$$P_d = \frac{1}{2} \rho \cdot u^2 \quad (1)$$

La **pression statique** : Cette pression peut être soit supérieure, soit inférieure à la pression atmosphérique et elle est généralement notée (P_s)

Pour un fluide parfait (non visqueux), cette équation est donnée par :

$$\frac{u^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + z = \text{cste} \quad (2)$$

Où : P : la pression statique, u : la vitesse du fluide et z : la cote



- 1) manomètre à tubes pour l'affichage des pressions statiques (mm) ;
- 2) tube de Venturi avec points de mesure ;
- 3) tube de Pitot pour la mesure de la pression totale.

Figure 1 : Répartition de la pression le long d'un tube de Venturi

L'application de théorème de Bernoulli entre deux points (A) et (B) donne :

$$\frac{u_A^2}{2g} + \frac{P_A}{\rho g} + z_A = \frac{u_B^2}{2g} + \frac{P_B}{\rho g} + z_B \quad (3)$$

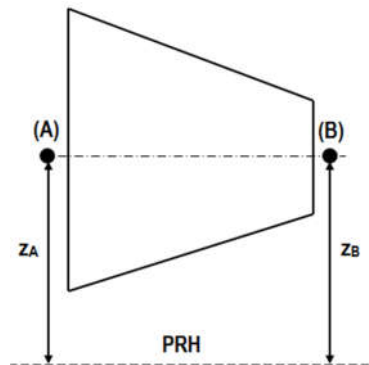


Figure 2 : Application de l'équation de Bernoulli entre deux points.

Puisque la conduite est horizontale : $z_A = z_B$, l'équation (3) devient :

$$\frac{u_A^2 - u_B^2}{2} = \frac{P_B - P_A}{\rho} \quad (4)$$

Où : $\frac{u_A^2 - u_B^2}{2}$: La variation d'énergie cinétique et $\frac{P_B - P_A}{\rho}$: La variation d'énergie de pression

En utilisant l'équation de continuité :

$$Q_V = u_A \times S_A = u_B \times S_B$$

$$u_B = u_A \times \frac{S_A}{S_B} \quad (5)$$

L'équation (4) s'écrit :

$$\frac{u_A^2}{2} \left(1 - \left(\frac{S_A}{S_B} \right)^2 \right) = \frac{P_B - P_A}{\rho} \quad (6)$$

Dans le montage expérimental, les tubes piézométriques mesurent la pression en un point (ou pression statique) en hauteur d'eau h , selon les relations :

$$\begin{aligned} P_A &= P_{atm} + \rho g h_A \\ P_B &= P_{atm} + \rho g h_B \end{aligned} \quad (7)$$

Et donc

$$h_B - h_A = \frac{u_A^2}{2g} \left(1 - \left(\frac{S_A}{S_B} \right)^2 \right) \quad (8)$$

3. Partie expérimentale

3.1. Banc d'essai

L'appareil d'essai permet de vérifier le théorème de Bernoulli en déterminant les pressions présentes dans un tube de Venturi.

L'appareil d'essai comprend une section de tuyau avec un tube de Venturi transparent et un tube de Pitot mobile pour la mesure de la pression totale. Le tube de Pitot se trouve à l'intérieur du tube de Venturi où il subit un déplacement axial. La position du tube de Pitot peut être observée à l'aide du panneau transparent du tube de Venturi.

Le tube de Venturi est équipé de points de mesure de la pression pour la détermination des pressions statiques. Les pressions sont affichées sur le manomètre à six tubes. La pression totale est mesurée au moyen d'un tube de Pitot et affichée sur un autre manomètre à tube.

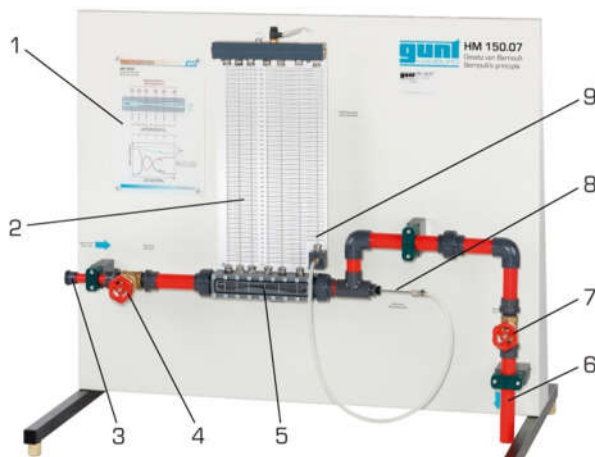


Figure 3 : Description du banc d'essai.

- 1) schéma ;
- 2) manomètre à tubes (pressions statiques) ;
- 3) alimentation en eau ;
- 4) soupape d'alimentation en eau ;
- 5) tube de Venturi ;
- 6) évacuation d'eau ;
- 7) soupape d'évacuation d'eau ;
- 8) tube de Pitot ;
- 9) manomètre à tube (pression totale).

3.2. Dimensions du tube de venturi

La figure 4 donne les dimensions du tube de Venturi.

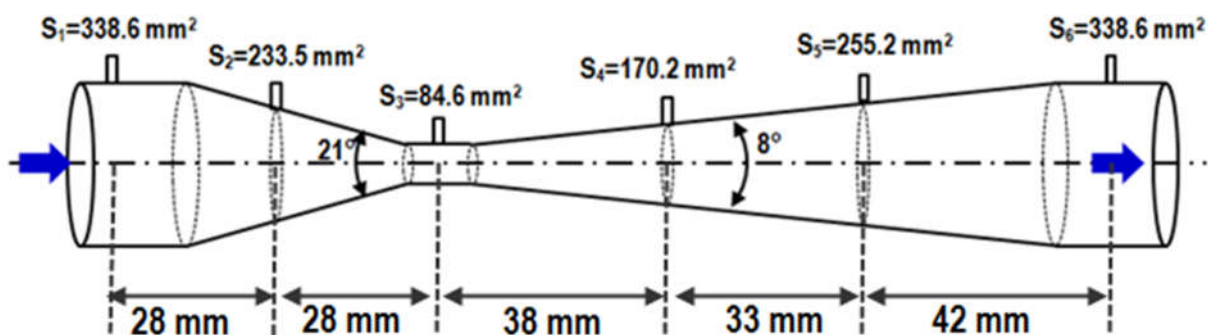


Figure 4 : Dimensions du tube de venturi

3.3. Tube de Pitot

La figure 5 représente schématiquement le tube de Pitot.

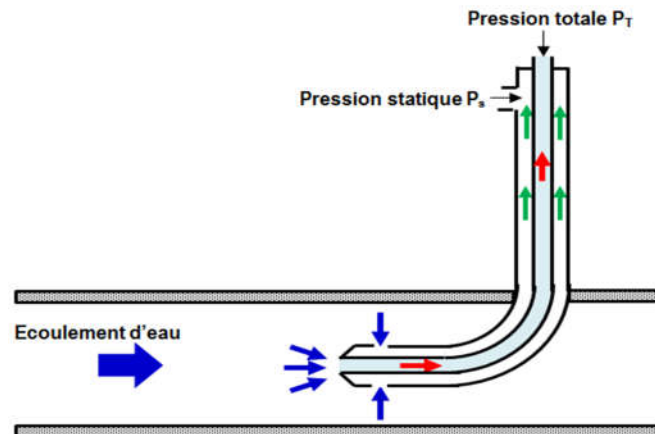


Figure 5 : Schéma de principe d'un tube de Pitot

Remplir le tableau suivant :

N°	v (m³)	t (s)	Q_v (m³/s)	Hauteurs piézométriques (mm)						
				h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_3 (mm)	h_4 (mm)	h_5 (mm)	h_6 (mm)	h_7 (mm)
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Tableau 1 : Valeurs des hauteurs piézométriques, volume et temps.

4. Travail demandé

- 1) Introduction sur le TP
- 2) Remplir les tableaux à partir des mesures expérimentales effectuées.
- 3) Calculer, tracer et interpréter la variation de la pression statique et de la pression totale en fonction de X (section S).
- 4) Donner une conclusion générale sur TP

Compte-rendu TP

1) Introduction sur le TP

.....

.....

.....

.....

2) Remplir les tableaux à partir des mesures expérimentales effectuées.

N°	v (m ³)	t (s)	Q_v (m ³ /s)	Hauteurs piézométriques (mm)						
				h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_3 (mm)	h_4 (mm)	h_5 (mm)	h_6 (mm)	h_7 (mm)
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Tableau 1 : Valeurs des hauteurs piézométriques, volume et temps.

3) Calculer de la pression statique et de la pression totale en fonction de X.

N°	Q_v (m ³ /s)	Pression statique						Pression totale	Pression dynamique	Pression statique
		P_1 (Pa)	P_2 (Pa)	P_3 (Pa)	P_4 (Pa)	P_5 (Pa)	P_6 (Pa)	P_7 (Pa)	P_7 (Pa)	P_7 (Pa)
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Interprétation du graphe 1

.....

.....

.....

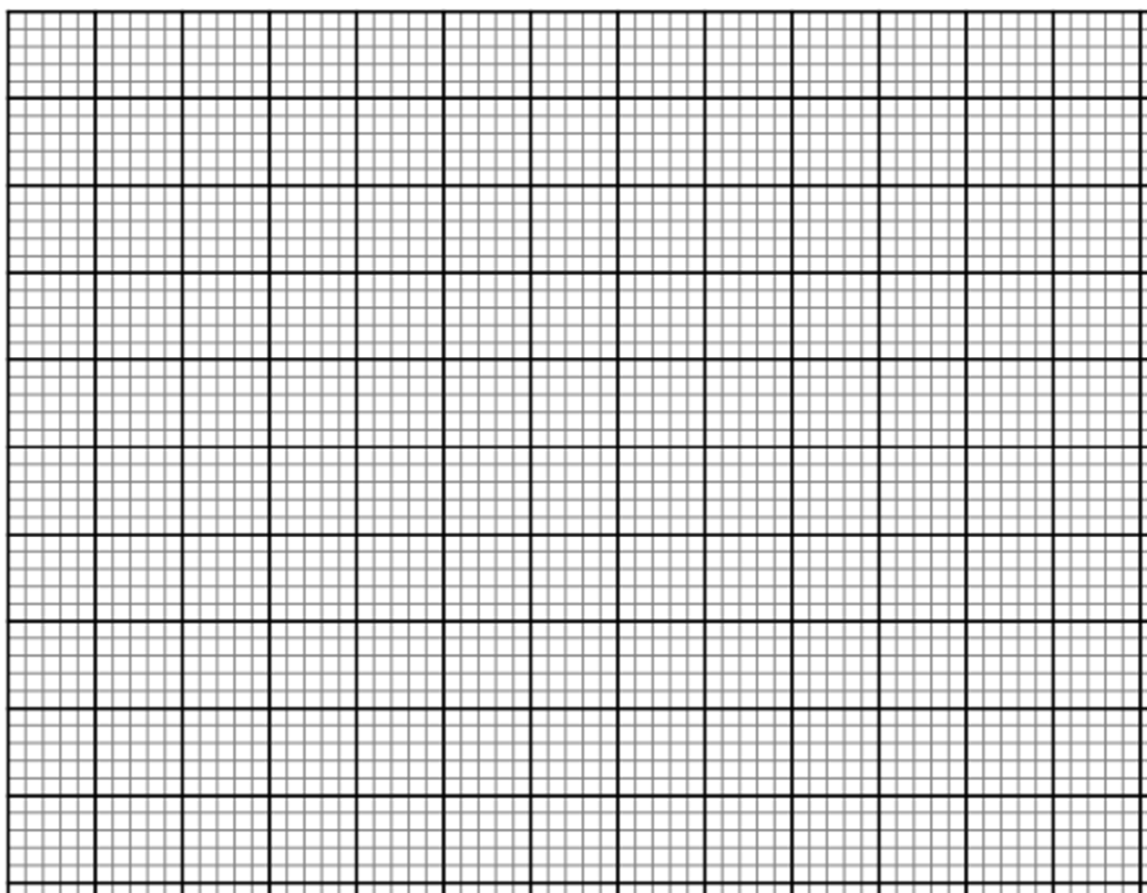
.....

.....

.....

.....

.....



Graphe 1 : La variation de la pression statique en fonction de X (Tube Venturi)

Interprétation du graphe 2

.....

.....

.....

.....

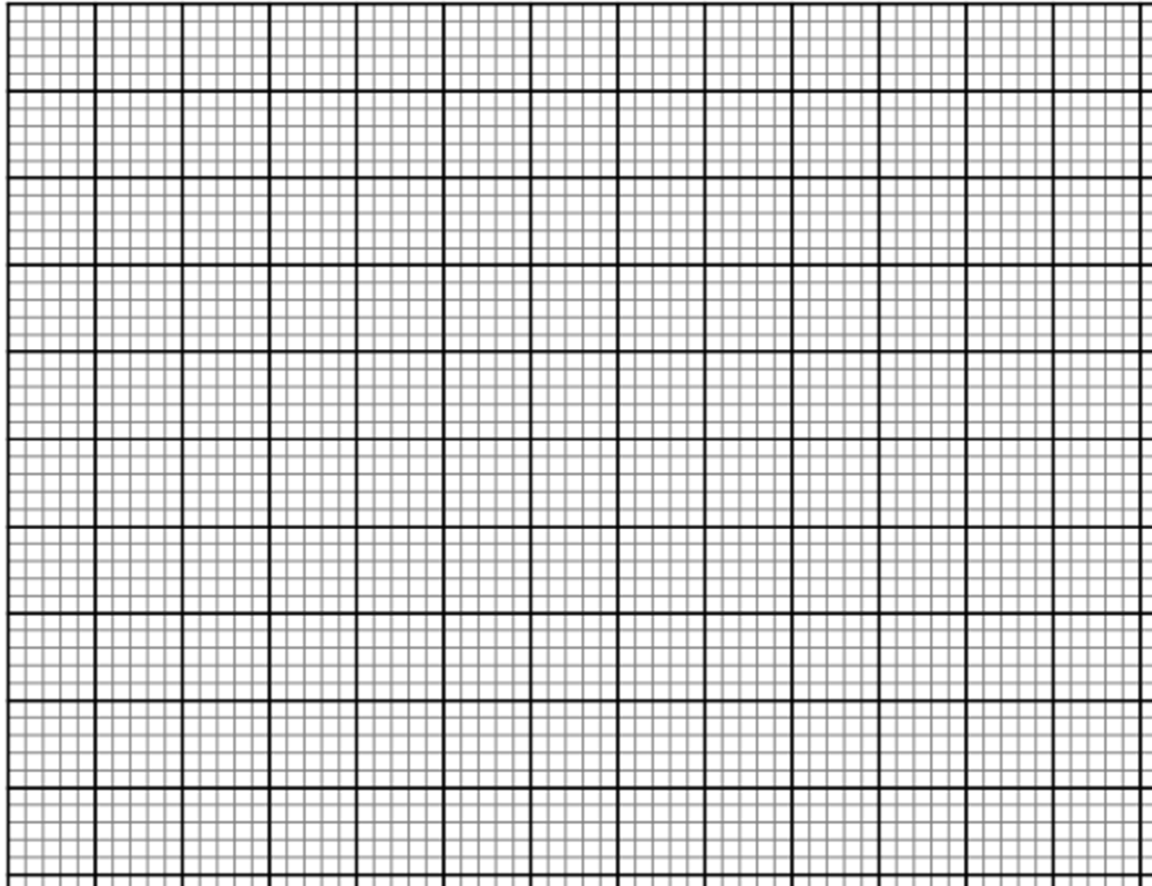
.....

.....

.....

.....

.....



Graphe 2 : La variation de la pression totale et de la pression statique en fonction de X (Tube de Pitot)

4) Conclusion

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Vidange horizontale d'un réservoir



1. Objectif de TP

- Visualisation de la trajectoire d'un jet de sortie.

2. Partie théorique

La vidange d'un réservoir peut être aussi bien stationnaire que non stationnaire. Dans le cas de stationnaire, la hauteur de remplissage et donc la portée du jet restent constantes (par exemple en cas d'écoulement sous un déversoir).

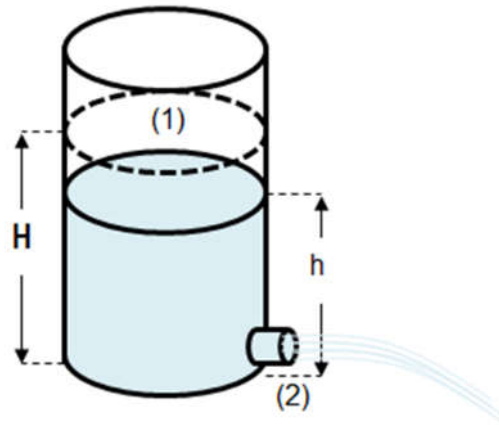


Figure 1 : schématisation d'une vidange horizontale

Application du théorème de Bernoulli entre la surface libre (1) et la sortie de fluide (2)

$$\frac{1}{2}\rho u_1^2 + P_1 + \rho g z_1 = \frac{1}{2}\rho u_2^2 + P_2 + \rho g z_2 \quad (1)$$

Les deux pressions P_1 et P_2 sont des pressions atmosphériques $P_1 = P_2 = P_{\text{atm}} = 1 \text{ bar}$ et u_1 est nulle (surface libre) $u_1 = 0$ l'équation de Bernoulli devient :

$$\frac{1}{2}\rho u_2^2 = \rho g \underbrace{(z_1 - z_2)}_H \quad (2)$$

La vitesse de vidange dépend uniquement de la hauteur de chute H et se calcule au moyen de la formule de Torricelli

$$u = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (3)$$

Des coordonnées cartésiennes sont utilisées pour la description mathématique de la trajectoire du jet. La composante horizontale de la vitesse u est appelée $u_{(x)}$ et la composante verticale $u_{(y)}$.

- La composante $u_{(x)}$: est constante et égale à la vitesse dans la tuyère.
- La composante $u_{(y)}$: est fonction de l'accélération de la pesanteur g .

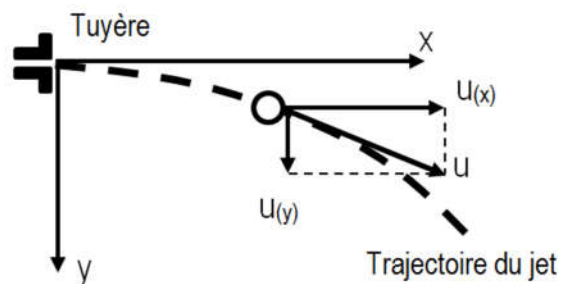


Figure 2 : les composantes de vitesse

$$\begin{aligned} u_{(x)} &= \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \\ u_{(y)} &= g \cdot t \end{aligned} \quad (4)$$

L'intégration en fonction du temps donne la fonction de lieu de la trajectoire du jet

$$\begin{aligned} x &= \int_0^t u_{(x)} \cdot dt = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \cdot t \\ y &= \int_0^t u_{(y)} \cdot dt = \frac{1}{2} g \cdot t^2 \end{aligned} \quad (5)$$

L'élimination du temps t donne la position verticale y en fonction de la distance de la tuyère x et de la hauteur de la colonne d'eau H

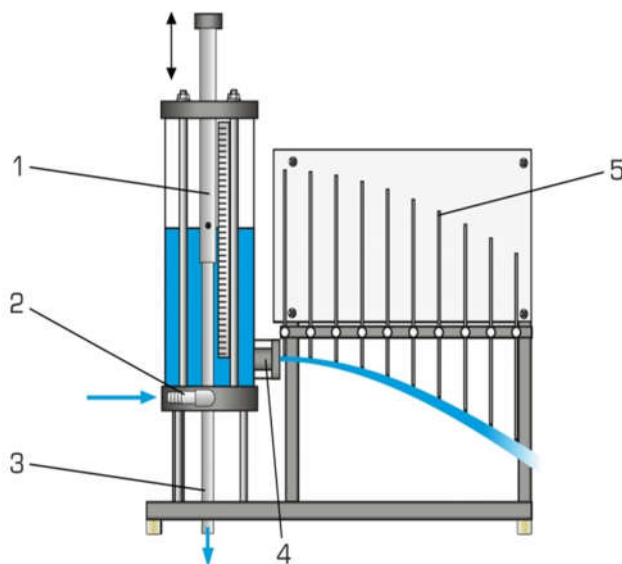
$$t = \frac{x}{\sqrt{2 \cdot g \cdot H}}$$

$$y = \frac{1}{4} \cdot \frac{x^2}{H} \quad (6)$$

3. Partie expérimentale

3.1. Description de banc d'essai

La figure 3 donne le montage du réservoir alimenté par le banc hydraulique et une conduite verticale de longueur réglable. Un tube de trop plein permet de maintenir un niveau constant dans le réservoir en renvoyant l'eau en excès vers le bac du banc par l'intermédiaire de la plaque supérieure. L'eau sort du réservoir par un orifice à mince paroi rapporté sans créer d'irrégularité sur face interne du fond du réservoir



- 1 réservoir avec trop-plein ajustable :
- 2 alimentation en eau ;
- 3 trop-plein d'eau ;
- 4 sortie d'eau ;
- 5 dispositif palpeur pour le jet d'eau

Figure 3 : description du banc d'essai

3.2. Présentation des résultats

1) Diamètre de tuyère (D = 4 mm)

H =			H =		
Position x en m	Position y en m (mesurée)	Position y en m (calculée)	Position x en m	Position y en m (mesurée)	Position y en m (calculée)
0			0		
0.07			0.07		
0.14			0.14		
0.21			0.21		
0.28			0.28		
0.35			0.35		
0.42			0.42		
0.49			0.49		

2) Diamètre de tuyère (D = 8mm)

H =			H =		
Position x en m	Position y en m (mesurée)	Position y en m (calculée)	Position x en m	Position y en m (mesurée)	Position y en m (calculée)
0			0		
0.07			0.07		
0.14			0.14		
0.21			0.21		
0.28			0.28		
0.35			0.35		
0.42			0.42		
0.49			0.49		

4. Travail demandé :

- 1) Introduction sur le TP
- 2) Remplir les tableaux
- 3) Calculer la position y en m pour les deux diamètres de la tuyère.
- 4) Comparer les valeurs de y (mesurée) avec y (calculée)
- 5) Tracer y (mesurée) et y (calculée) en fonction de la position x (m) pour les deux diamètres
- 6) Donner une conclusion générale sur l'influence du diamètre de la tuyère et la hauteur d'eau dans le réservoir

Compte-rendu TP

1) Introduction sur le TP

.....

.....

.....

.....

.....

.....

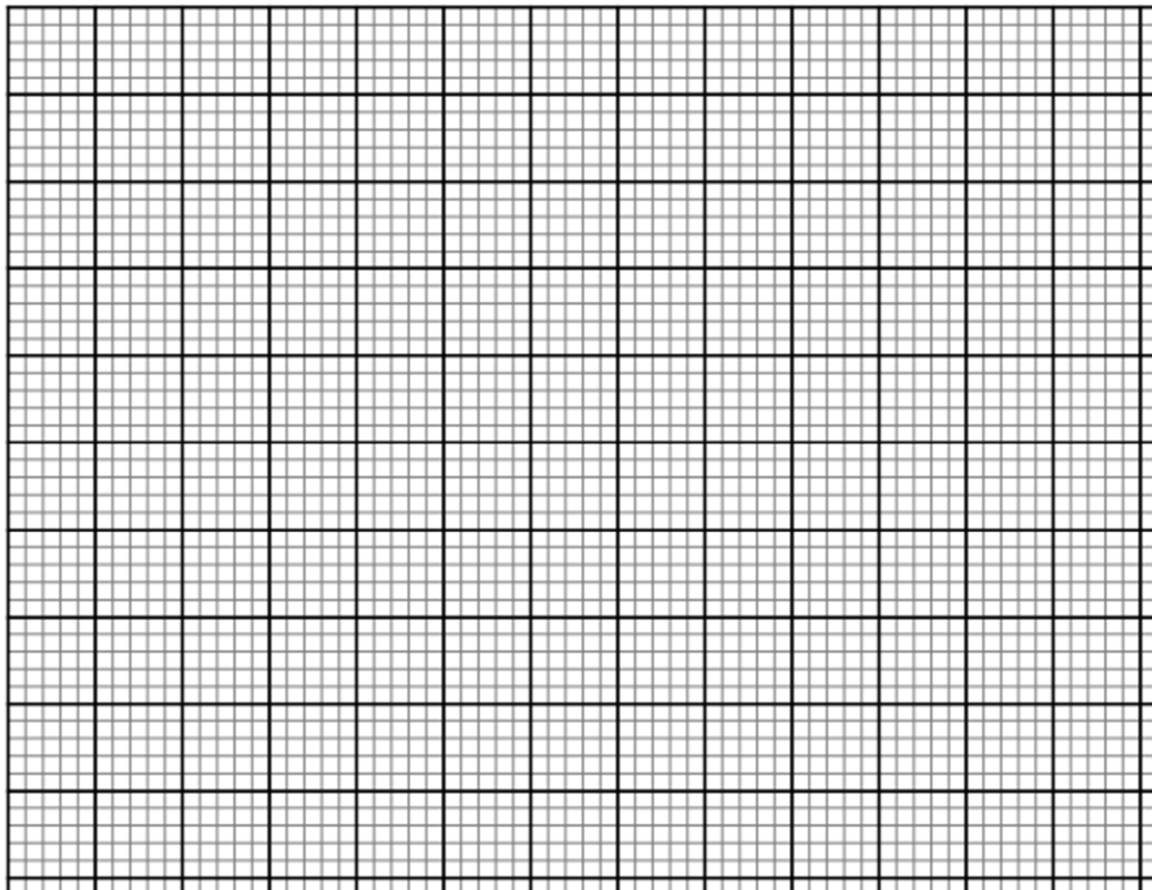
2) Remplir les tableaux à partir des mesures expérimentales effectuées.

a) Diamètre de tuyère ($D = 4 \text{ mm}$)

H =			H =		
Position x en m	Position y en m (mesurée)	Position y en m (calculée)	Position x en m	Position y en m (mesurée)	Position y en m (calculée)
0			0		
0.07			0.07		
0.14			0.14		
0.21			0.21		
0.28			0.28		
0.35			0.35		
0.42			0.42		
0.49			0.49		

b) Diamètre de tuyère ($D = 8 \text{ mm}$)

H =			H =		
Position x en m	Position y en m (mesurée)	Position y en m (calculée)	Position x en m	Position y en m (mesurée)	Position y en m (calculée)
0			0		
0.07			0.07		
0.14			0.14		
0.21			0.21		
0.28			0.28		
0.35			0.35		
0.42			0.42		
0.49			0.49		



Graphe 2 : variation de y (mesurée) et y (calculée) en fonction de la position x (m) pour le diamètre 8 mm

Interprétation des graphes 1 et 2

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5) Conclusion

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Vidange verticale d'un réservoir



1. Objectif de TP

- + détermination du diamètre et de la vitesse du jet de sortie.
- + étude d'orifices avec différents profils d'entrée et de sortie.
- + détermination des coefficients de contraction.

2. Partie théorique

Le rétrécissement de la section au niveau de la sortie implique une déviation de l'écoulement sur la paroi dans le sens du jet. Ce phénomène est appelé contraction du jet.

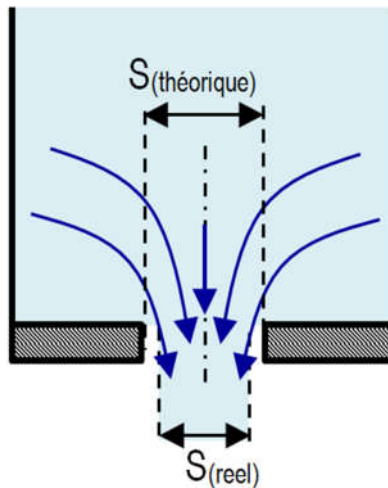


Figure 1 : contraction du jet

La contraction du jet à la sortie peut particulièrement bien être observée avec une ouverture à arêtes vives au fond d'un réservoir.

$$S_{(\text{réel})} = C_s \times S_{(\text{Théorique})}$$

$$C_s = \frac{D_{(\text{réel})}^2}{D_{(\text{Théorique})}^2} \quad (1)$$

Où C_s est un coefficient sans dimension appelé souvent indice de contraction ($C_s < 1$), qui est fonction de la forme de l'ouverture.

Le rétrécissement du jet à la sortie provoque un frottement supplémentaire au niveau de la paroi, ce qui produit un ralentissement de l'écoulement sur la paroi. En raison du ralentissement de l'écoulement contre la paroi, la vitesse moyenne du jet sortant est inférieure à ce qu'elle serait sans un frottement supplémentaire.

$$u_{(\text{réel})} = C_v \times u_{(\text{Théorique})} \quad (2)$$

Où C_v est un coefficient sans dimension appelé souvent indice de vitesse ($C_v < 1$).

La vitesse de sortie du jet se calcule ($u_{(\text{Théorique})}$) à l'aide de l'équation suivant :

$$u_{(\text{Théorique})} = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (3)$$

Avec

$$u_{(\text{réel})} = C_v \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (4)$$

Les deux coefficients d'écoulement C_s et C_v sont habituellement réunis en un coefficient unique, l'indice d'écoulement C_d .

$$C_d = C_v \times C_s \quad (5)$$

Donc

$$Q_{v(\text{réel})} = C_d \times Q_{v(\text{Théorique})} \quad (6)$$

3. Partie expérimentale

3.1. Description de banc d'essai

L'appareil d'essai comprend un réservoir transparent, un dispositif de mesure ainsi qu'un tube de Pitot et un manomètre à deux tubes. Pour l'étude de différents orifices, on fixe un insert interchangeable dans la sortie d'eau du réservoir.

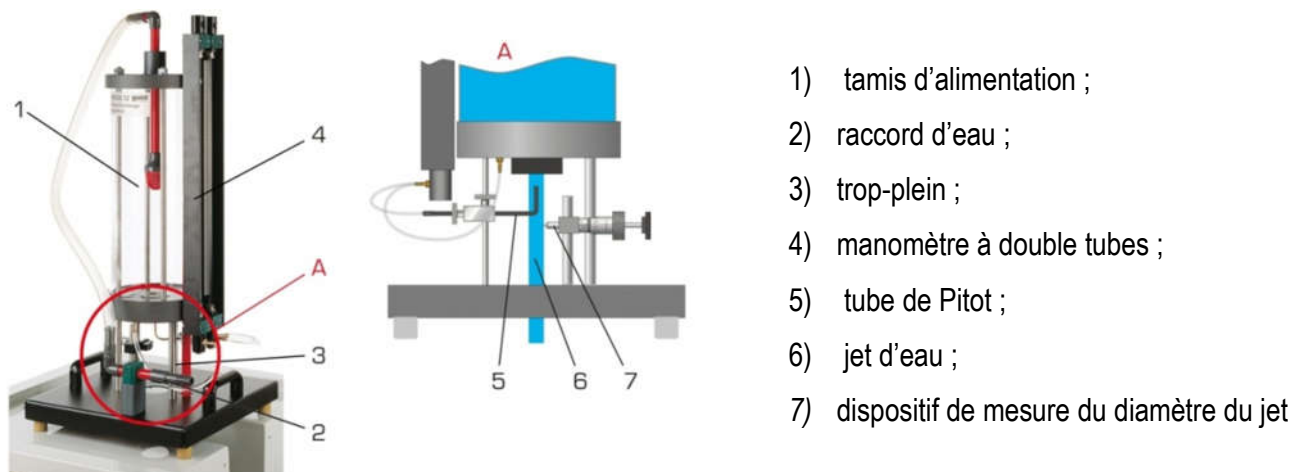
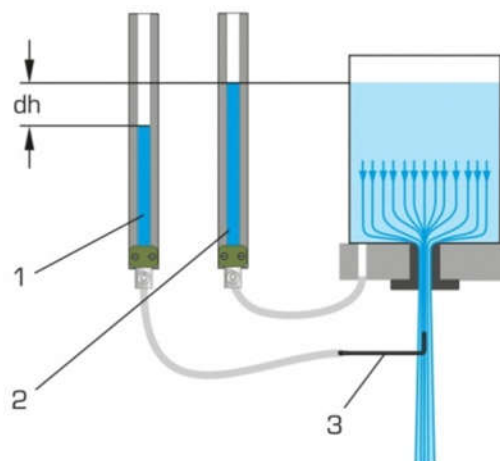


Fig. 2 : description du banc d'essai

Un dispositif de mesure permet d'effectuer les relevés relatifs au jet de sortie.



Un tube de Pitot (3) enregistre la pression totale de l'écoulement. Le différentiel de pression (pression statique dans le réservoir (1) et la pression totale(2)) relevé par le manomètre sert à déterminer la vitesse.

Pour calculer la vitesse du jet théorique

$$u_{(\text{Théorique})} = \sqrt{2 \cdot g \cdot H_{\text{statique}}} \quad (7)$$

Et pour la vitesse du jet mesuré (réel) avec le tube de pitot

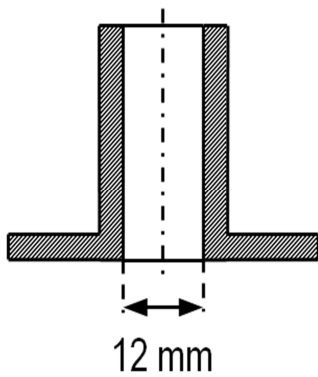
$$u_{(\text{réel})} = \sqrt{2 \cdot g \cdot H_{\text{total}}} \quad (8)$$

Remarque :

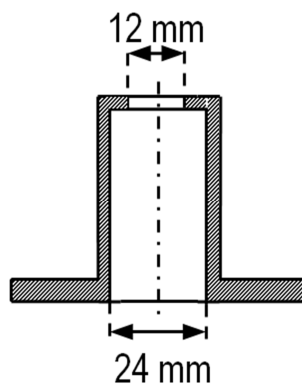
Le dispositif de mesure est à présent réglé pour le rayon puisse être réglé comme suit au cours des essais suivants :

Rayon de jet = 10 mm – valeur indiquée par micromètre

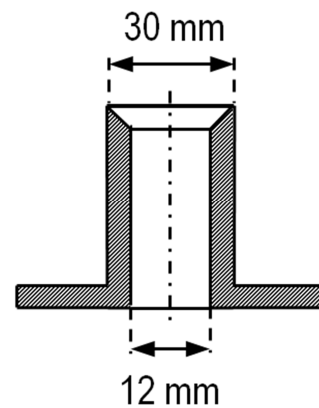
Différentes tuyères peuvent être placées au fond du réservoir pour les expérimentations.



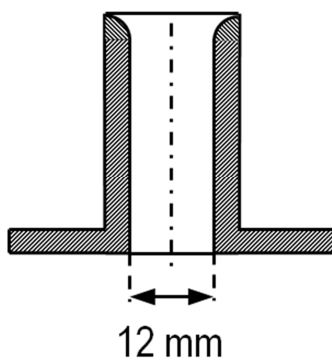
Canal



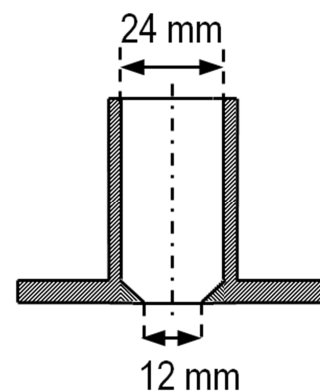
Entrée de la tuyère : diaphragme



Entrée de la tuyère : cône



Entrée de la tuyère : arrondi



Sortie de la tuyère : cône

3.2. Présentation des résultats

Tuyère :			Tuyère :		
N° de la mesure	1	2	N° de la mesure	1	2
Hauteur statique en mm CE			Hauteur statique en mm CE		
Hauteur totale en mm CE			Hauteur totale en mm CE		
valeur indiquée par micromètre en mm			valeur indiquée par micromètre en mm		
Rayon de jet en mm			Rayon de jet en mm		
Débit volumique m ³ /s			Débit volumique m ³ /s		
Vitesse réel en m/s			Vitesse réel en m/s		
Vitesse théorique en m/s			Vitesse théorique en m/s		
Indice de contraction C_s			Indice de contraction C_s		
Indice de vitesse C_v			Indice de vitesse C_v		
Indice d'écoulement C_d			Indice d'écoulement C_d		

4. Travail demandé :

- 1) Introduction sur le TP
- 2) Remplir les tableaux
- 3) Calculer la vitesse réelle et théorique
- 4) Calculer les indices de contraction, de vitesse et de l'écoulement.
- 5) Donner la relation entre le débit volumique et le coefficient de contraction
- 6) Donner une conclusion

Compte-rendu TP

1) Introduction sur le TP

.....

.....

.....

.....

.....

2) Remplir les tableaux à partir des mesures expérimentales effectuées.

Tuyère :			Tuyère :		
N° de la mesure	1	2	N° de la mesure	1	2
Hauteur statique en mm CE			Hauteur statique en mm CE		
Hauteur totale en mm CE			Hauteur totale en mm CE		
valeur indiquée par micromètre en mm			valeur indiquée par micromètre en mm		
Rayon de jet en mm			Rayon de jet en mm		
Débit volumique m ³ /s			Débit volumique m ³ /s		

3) Calculer la vitesse réelle, théorique, Indice de contraction, Indice de vitesse et Indice d'écoulement

Tuyère :			Tuyère :		
N° de la mesure	1	2	N° de la mesure	1	2
Vitesse réel en m/s			Vitesse réel en m/s		
Vitesse théorique en m/s			Vitesse théorique en m/s		
Indice de contraction C_s			Indice de contraction C_s		
Indice de vitesse C_v			Indice de vitesse C_v		
Indice d'écoulement C_d			Indice d'écoulement C_d		

4) La relation entre le débit volumique et le coefficient de contraction

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....
.....

5) Conclusion

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Impulsion d'un Jet



1. Objectif de TP

- ✚ Détermination de la réaction d'un jet frappant un obstacle fixe.
- ✚ étude des forces de jet sur des déflecteurs
- ✚ démonstration du principe de conservation de l'impulsion

2. Partie théoriques

2.1. Jet symétrique

La figure 1 représente le courant d'eau à vitesse moyenne u qui s'écoule vers le haut à partir de la buse. Cet écoulement frappe la surface d'impact et tourne radialement vers l'extérieur de l'axe de la surface d'impact. Pour procéder à l'analyse, on admet les hypothèses suivantes

- Le frottement entre la surface d'impact et le jet d'eau est négligeable.
- L'amplitude de la vitesse du jet ne change pas à mesure que le jet est tourné.
- Les profils de vitesse sont uniformes lorsque l'écoulement traverse la surface de contrôle.

A la sortie le jet est divisé en deux parties symétriques.

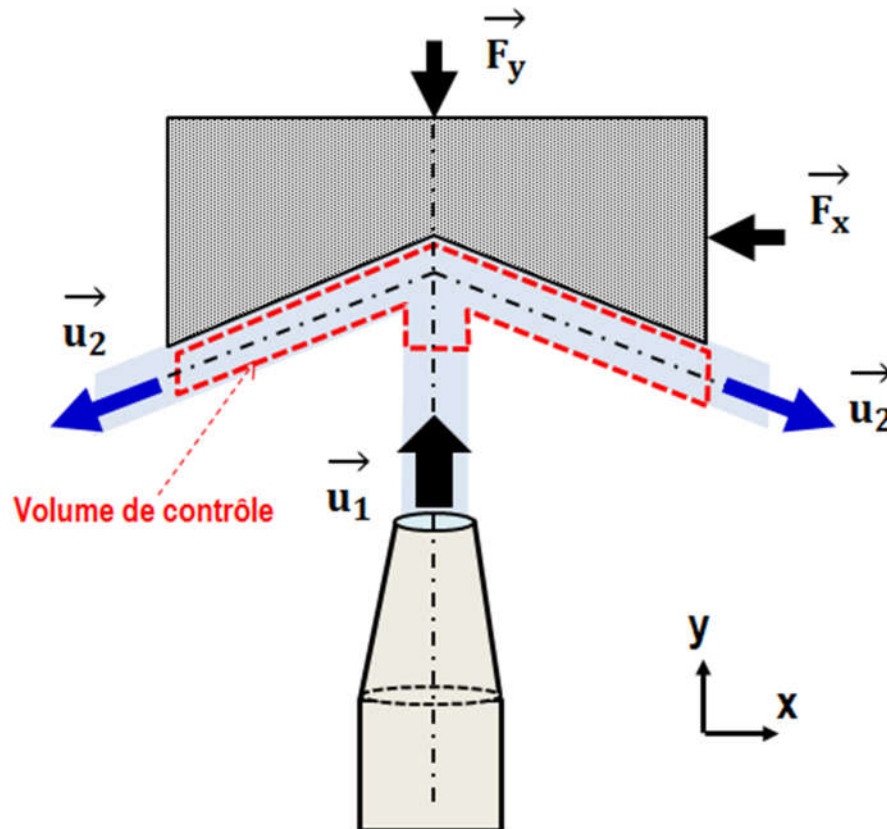


Figure 1 : Analyse du volume de contrôle du jet.

L'application de la conservation de la masse aux jets donne :

$$u_1 S_1 - u_2 S_2 = 0 \quad (1)$$

Où u la vitesse moyenne à une section donnée et S la surface en coupe perpendiculaire à la direction de la vitesse moyenne. Les indices 1 et 2 se réfèrent respectivement à l'entrée et à la sortie du volume de contrôle. Appliquons le théorème de Bernoulli entre les sections (1) et (2) :

$$\frac{u_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + z_2 \quad (2)$$

Avec $P_1 = P_2 = P_{atm}$. Puisque le volume de contrôle très petit $z_1 = z_2$. On obtient

$$u_1 = u_2 = u_{jet} \quad (3)$$

La force exercée sur la plaque s'écrit donc :

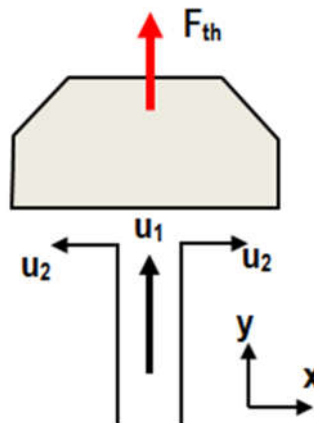
$$\vec{F} = - \int_S \rho \cdot \vec{u} (\vec{u} \cdot \vec{n}) dS \quad (4)$$

Par raison de symétrie, la projection de la seconde intégrale sur un plan normal à l'axe du jet est nulle :

$$\begin{aligned} \vec{F} &= - \int_{S_1} \rho \vec{u}_1 (\underbrace{\vec{u}_1 \cdot \vec{n}_1}_{= -u_1}) dS_1 - \int_{S_2} \rho \vec{u}_2 \left(\underbrace{\vec{u}_2 \cdot \vec{n}_2}_{= u_2} \right) dS_2 \\ \vec{F} &= \rho \cdot \vec{u}_1 \cdot u_1 \cdot S_1 - \rho \cdot \vec{u}_2 \cdot u_2 \cdot S_2 = \rho Q_v (\vec{u}_1 - \vec{u}_2) \end{aligned} \quad (5)$$

En ne tenant compte de la composante verticale, la formule générale pour calculer la force du jet théorique est :

a) Surface plane



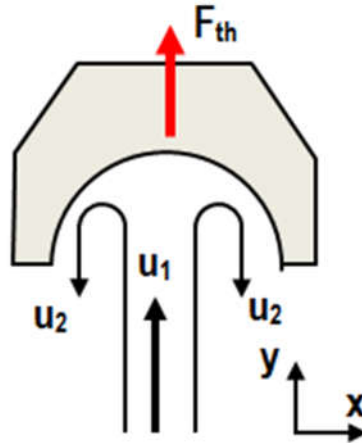
$$F_{th} = \rho \cdot Q_v \cdot (u_1 - u_2) \quad (6)$$

Quand $u_2 = 0$

Alors

$$F_{th} = \rho \cdot Q_v \cdot u_{jet} \quad (7)$$

b) Surface semi-arrondie



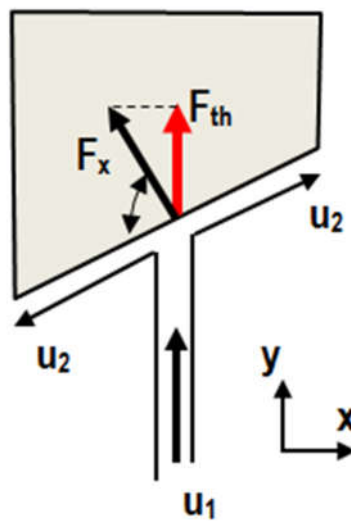
$$F_{th} = \rho \cdot Q_v \cdot (u_1 - u_2) \quad (6)$$

Quand $u_2 = -u_1$

Alors

$$F_{th} = 2 \cdot \rho \cdot Q_v \cdot u_{jet} \quad (8)$$

c) Surface oblique



$$F_x = \rho \cdot Q_v \cdot u_{jet} \cdot \sin \theta \quad (9)$$

$$F_{th} = F_x \cdot \cos \theta \quad (10)$$

D'autre part : $\sin \theta = \cos \theta$

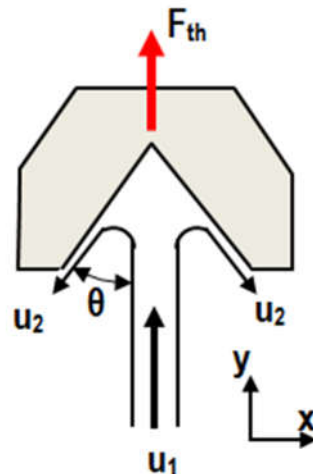
Donc

$$F_{th} = \rho \cdot Q_v \cdot u_{jet} \cdot \sin^2 \theta \quad (11)$$

Avec $\theta = 45^\circ$

$$F_{th} = \frac{1}{2} \rho \cdot Q_v \cdot u_{jet} \quad (12)$$

d) Surface conique



$$F_{th} = \rho \cdot Q_v \cdot (u_1 - u_2) \quad (6)$$

Avec $u_2 = -u_1 \cdot \cos \theta$

$$F_{th} = \rho \cdot Q_v \cdot u_{jet} (1 + \cos \theta) \quad (13)$$

3. Partie expérimentale

3.1. Montage expérimental

L'appareil de démonstration de l'impact de jet, permet de mener des expériences sur l'action d'un jet d'eau sur des obstacles de différentes formes (surface plane, surface semi-arrondie, surface oblique, surface conique). La force produite par le jet concourant symétrique sur l'obstacle est transmise par la tige au plateau où les poids sont placés pour équilibrer la force transmise.

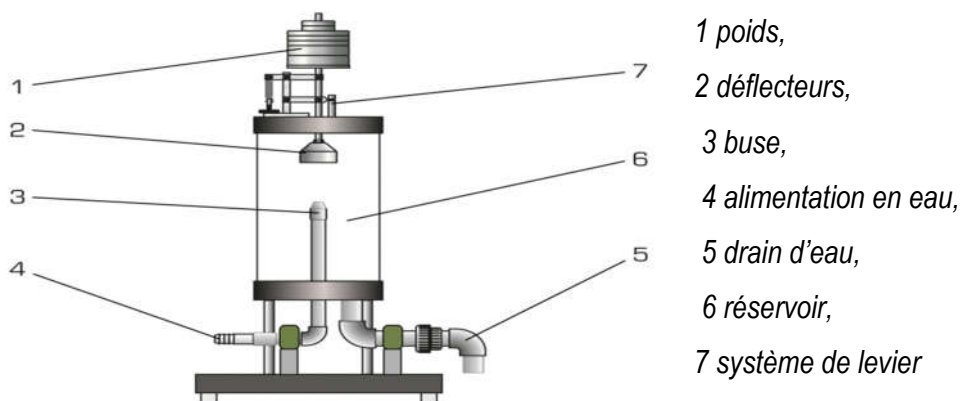


Figure 2 : Description du banc d'essai.

Les différents angles formés par le jet et la surface de l'obstacle :

	Obstacles	Angle θ
1	Surface plane	90°
2	Surface semi-arrondie	180°
3	Surface oblique	45°/135°
4	Surface conique	135°

3.2. Remplir les tableaux suivants

Buse de diamètre 10mm								
Surface plane					Surface semi-arrondie			
N°	P (N)	Volume (L)	Temps (s)		N°	P (N)	Volume (L)	Temps (s)
1					1			
2					2			
3					3			
4					4			
5					5			
6					6			
7					7			

Buse de diamètre 10mm								
Surface conique					surface oblique			
N°	P (N)	Volume (L)	Temps (s)		N°	P (N)	Volume (L)	Temps (s)
1					1			
2					2			
3					3			
4					4			
5					5			
6					6			
7					7			

4. Travail demandé

- 1) Introduction sur le TP
- 2) Calculer : $F_{\text{théorique}}$
- 3) Tracer $F_{\text{théorique}}$ en fonction du débit volumique Q_v (m^3/s) sur le même graphe
- 4) Commenter les graphes
- 5) Donner une conclusion générale sur l'influence de la forme de déflecteur sur la force de Jet.

Compte-rendu TP

1) Introduction sur le TP

.....

.....

.....

.....

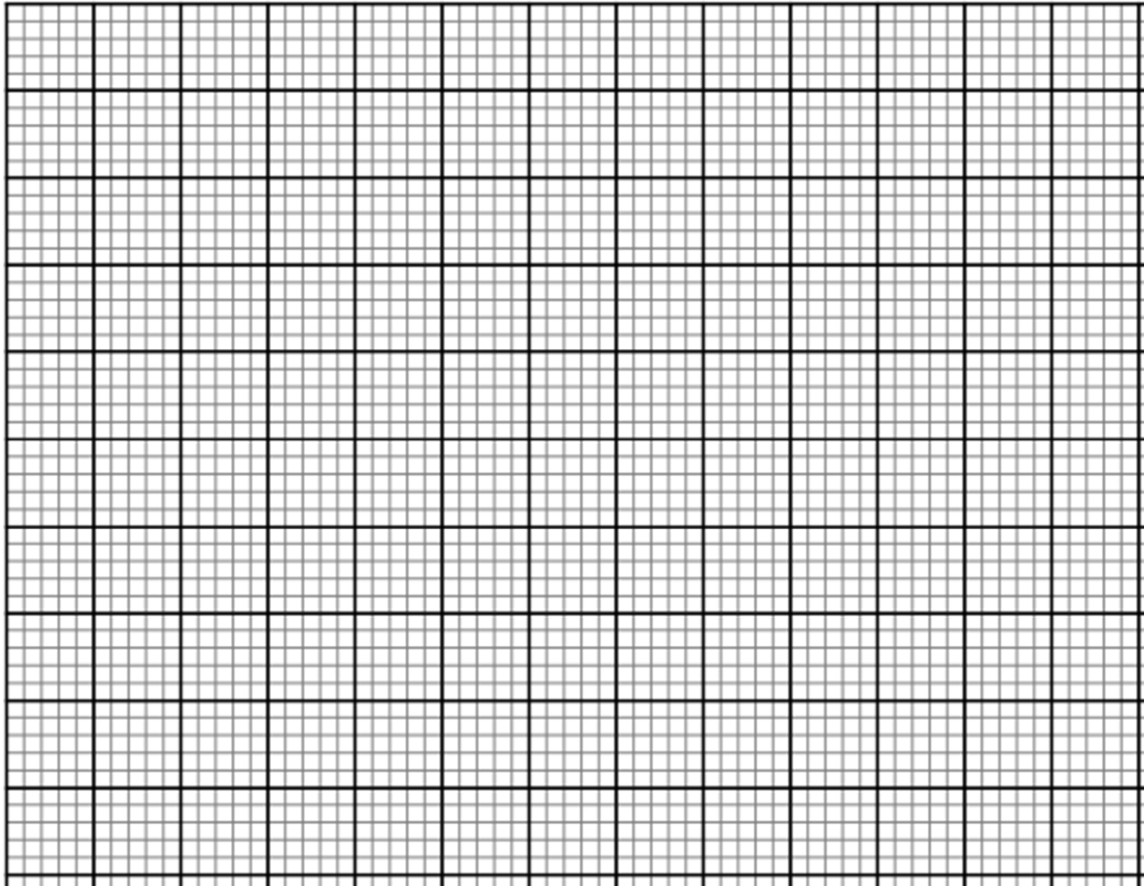
.....

.....

2) Remplir les tableaux à partir des mesures expérimentales effectuées.

Buse de diamètre 10mm									
Surface plane					Surface semi-arrondie				
N°	P (N)	Volume (L)	Temps (s)	$F_{théorique}$ (N)	N°	P (N)	Volume (L)	Temps (s)	$F_{théorique}$ (N)
1					1				
2					2				
3					3				
4					4				
5					5				
6					6				
7					7				
Surface conique					surface oblique				
N°	P (N)	Volume (L)	Temps (s)	$F_{théorique}$ (N)	N°	P (N)	Volume (L)	Temps (s)	$F_{théorique}$ (N)
1					1				
2					2				
3					3				
4					4				
5					5				
6					6				
7					7				

3) Tracer $F_{\text{théorique}}$ en fonction du débit volumique Q_v (m^3/s) sur le même graphe



Graphe 1 : la variation de $F_{\text{théorique}}$ en fonction du débit volumique Q_v (m^3/s)

4) Interprétation du graphe 1

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5) Conclusion

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Expérience d'Osborne Reynolds



1. Objectif de TP

- ✚ Visualisation de l'écoulement laminaire et de l'écoulement turbulent.
- ✚ Détermination du nombre de Reynolds critique.

2. Partie théorique

2.1. Régimes d'écoulement

Dans les écoulements des fluides réels on distingue deux régimes d'écoulement :

- Le régime d'écoulement **laminaire** appelé aussi régime d'écoulement tranquille ou de poiseuille. Ce régime est régulier et est constitué de filets liquides parfaitement identiques. Les écoulements laminaires trouvent leur application dans les circuits hydrauliques, de lubrification et de commande.
- Le régime d'écoulement **turbulent** appelé aussi régime d'écoulement hydraulique, est constitué des filets liquides enchevêtrés qui ne conservent pas leur individualité. Les écoulements turbulents sont plus fréquents en industrie.
- Le régime transitoire ou zone de **transition** entre le régime laminaire et le régime d'écoulement.

Ces deux régimes ont été mis en évidence à l'aide de l'expérience d'Osborne Reynolds. Ce dernier, introduit le nombre adimensionnel, appelé nombre de Reynolds pour différencier entre les deux régimes.

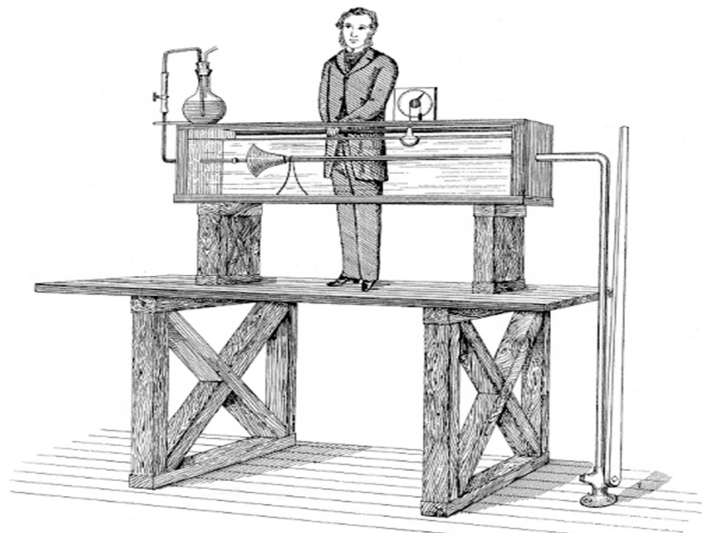


Figure 1 : Expérience d'Osborne Reynolds.

Le nombre Reynolds est le rapport entre les forces d'inertie qui favorisent l'écoulement, et les forces visqueuses qui s'opposent à l'écoulement, il est donné par :

$$Re = \frac{u_m \times D_H}{\nu} = \frac{\rho \times u_m \times D_H}{\mu} = \frac{\text{Forces d'inertie}}{\text{Forces visqueuses}} \quad (1)$$

Le diamètre hydraulique donné par la relation :

$$D_H = \frac{4S_m}{P_m} = \frac{4 \text{ section mouillée}}{\text{Périmètre mouillé}} \quad (2)$$

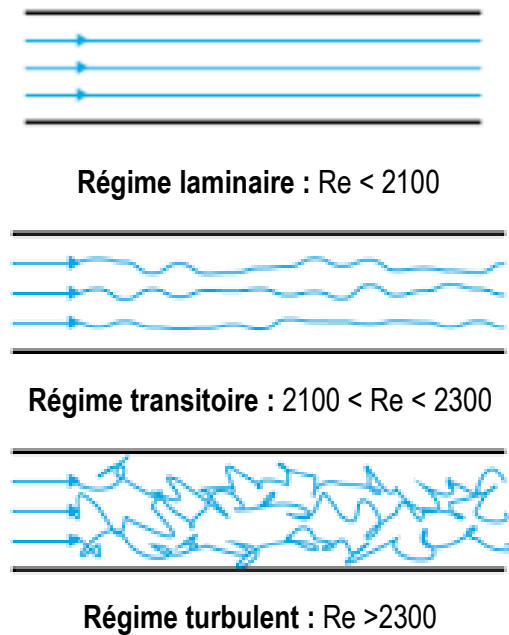
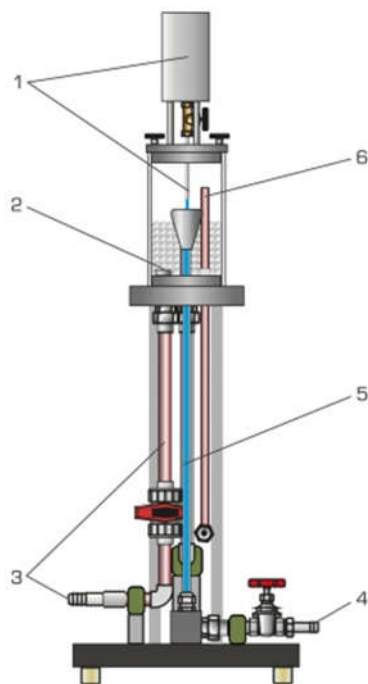


Figure 2 : Les différents régimes d'écoulement.

3. Partie expérimentale

3.1. Montage expérimental

L'appareil d'essai est composé d'une section de tuyau transparente où s'écoule de l'eau avec une arrivée optimisée. Une soupape permet d'ajuster le débit dans la section de tuyau. On injecte de l'encre dans l'eau qui circule. Une couche de billes de verre à l'intérieur du réservoir d'arrivée assure l'homogénéité de l'écoulement et limite la formation de tourbillons.



- 1) réservoir d'encre avec tuyau d'arrivée ;
- 2) réservoir d'arrivée avec billes de verre ;
- 3) alimentation en eau ;
- 4) évacuation d'eau avec vanne de régulation ;
- 5) section de tuyau en verre,
- 6) trop-plein.

Figure 3 : Description du banc d'essai.

3.2. Mesures expérimentales

Mesure N°	Volume (m ³)	Temps (s)	Q _v (m ³ /s)	V (m/s)	Re
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

4. Travail demandé

- 1) Introduction sur le TP
- 2) Remplir les tableaux à partir des mesures expérimentales effectuées.
- 3) Tracer la variation du nombre de Reynolds Re en fonction de la vitesse.
- 4) Conclusion sur le TP.

Compte-rendu TP

1) Introduction sur le TP

.....

.....

.....

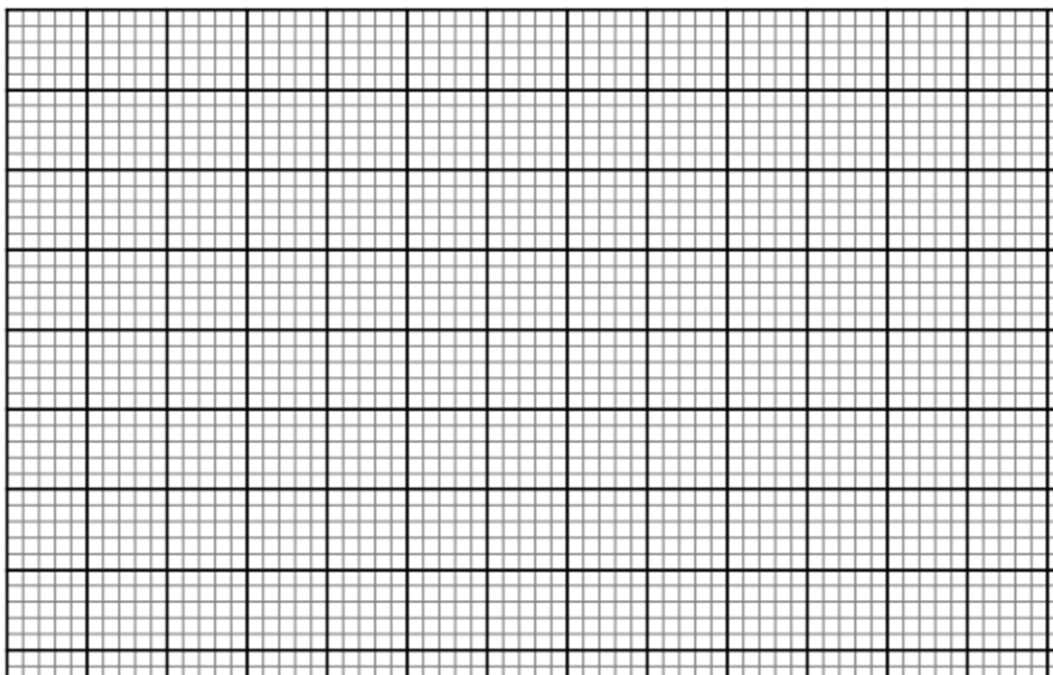
.....

.....

2) Remplir les tableaux à partir des mesures expérimentales effectuées.

Mesure N°	Volume (m ³)	Temps (s)	Q _V (m ³ /s)	V (m/s)	Re
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

3) Tracer la variation du nombre de Reynolds Re en fonction de la vitesse.



Graphe 1 : la variation du nombre de Reynolds Re en fonction de la vitesse.

Interprétation du graphe 1

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4) Conclusion

.....

.....

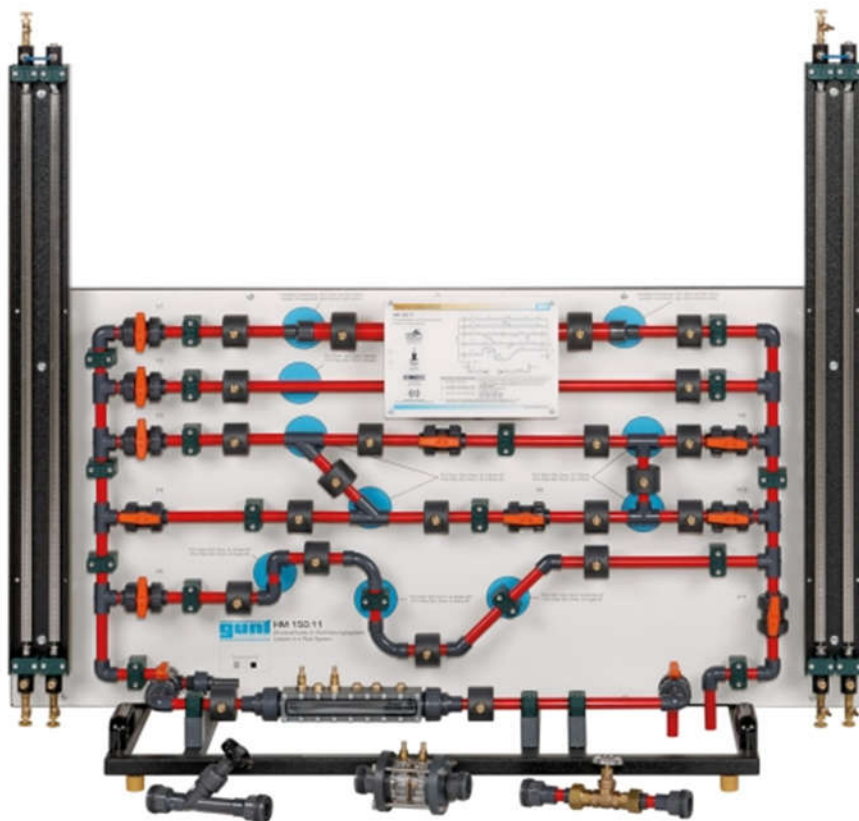
.....

.....

.....

.....

Pertes de charge dans un système de conduites



1. Objectif de TP

- ✚ pertes de charge dans un système de conduites
- ✚ études des pertes de charge au niveau des conduites, pièces de tuyauterie et robinetteries
- ✚ influence de la vitesse d'écoulement sur les pertes de charge
- ✚ calcul des coefficients de résistance

2. Partie théorique

Lors de l'écoulement de fluides réels, des pertes de charge se produisent en raison de frottements et de turbulences (tourbillons). Les pertes de charge se produisent dans les tuyaux, les éléments de pipeline, les raccords et les dispositifs de mesure. Ces pertes de charge doivent être prises en compte lors de la conception des systèmes de tuyauterie.

La perte de charge dans un élément de tuyauterie droit due au frottement qui apparaît entre le fluide en mouvement et la paroi intérieure de la tuyauterie

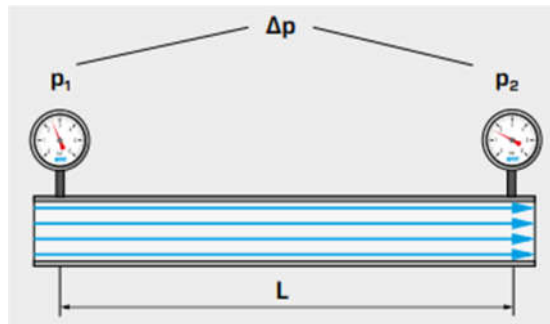


Figure 1 : perte de charge linéaire

Le différentiel de pression Δp entre l'entrée et la sortie d'un élément de tuyauterie droit est calculé à partir de la formule suivante:

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho \times u^2}{2} \quad (1)$$

Ou bien

$$\Delta H = \frac{\Delta p}{\rho \times g} = \lambda \frac{L}{D} \frac{u^2}{2g} \quad (2)$$

Δp : différentiel de pression, L : longueur du tuyau, D : diamètre interne du tuyau, u : vitesse moyenne de l'eau à travers le tuyau, ρ : masse volumique, g : accélération de la gravité et λ : Coefficient de la perte de charge linéaire

La valeur de λ peut être déterminée par deux méthodes :

✚ **Le régime d'écoulement :**

Régime laminaire $Re < 2100$:

Formule de Poiseuille :
$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (3)$$

Régime turbulent $Re > 2100$

Formule de Blasius $2100 < Re < 10^5$:
$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (4)$$

Formule de Prandtl – Von Karman $10^5 < Re < 10^6$:
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log(Re \sqrt{\lambda}) - 0,8 \quad (5)$$

Formule de Nikuradse $Re > 10^6$:
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log\left(\frac{\varepsilon}{3,71 D}\right) \quad (6)$$

en fonction de Re et de la rugosité relative ε/D à l'aide du **diagramme de Moody** (Fig. 1).

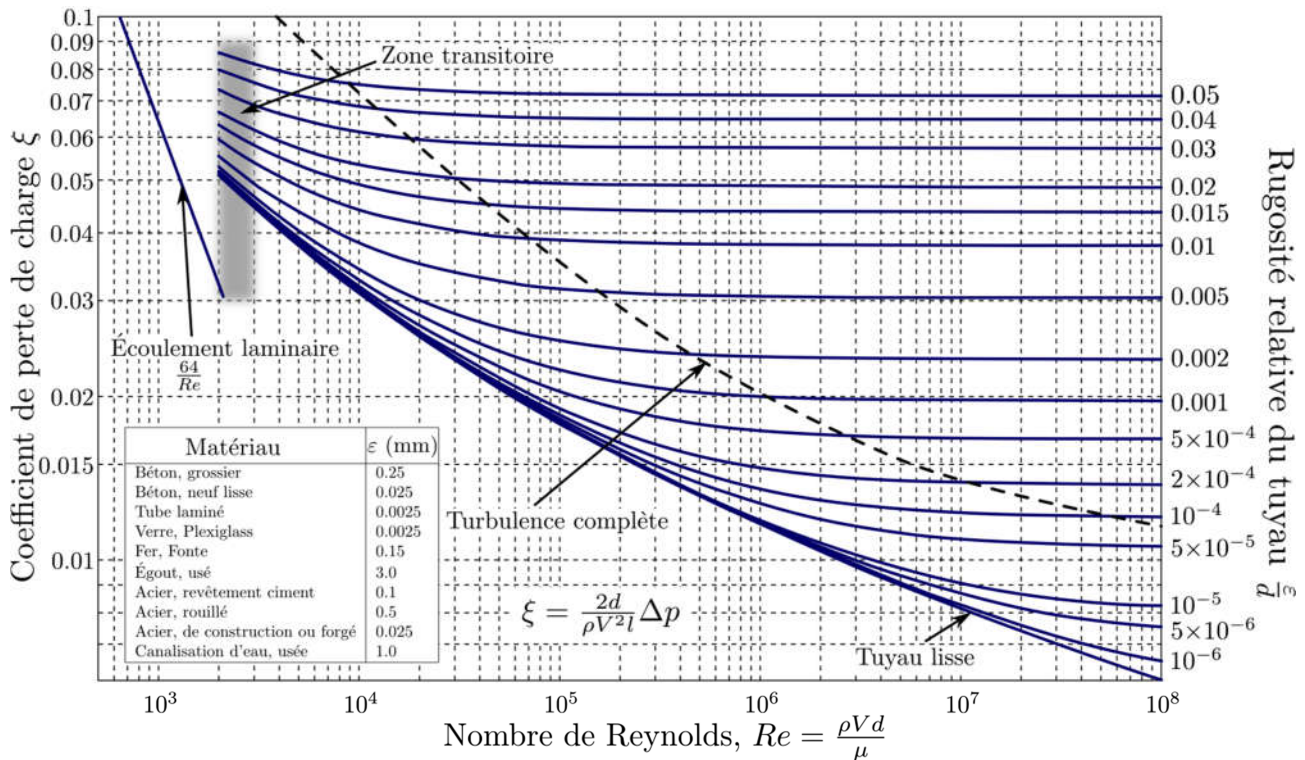


Figure 2 : diagramme de Moody

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 s'écrit :

$$\Delta p = K \frac{\rho \times u^2}{2} \quad (7)$$

Ou bien

$$\Delta H = K \frac{u^2}{2g} \quad (8)$$

u : vitesse moyenne de l'eau à travers le tuyau, g : accélération de la gravité et K : Coefficient de la perte de charge singulière.

✚ Changement de direction

a) Coude Arrondi

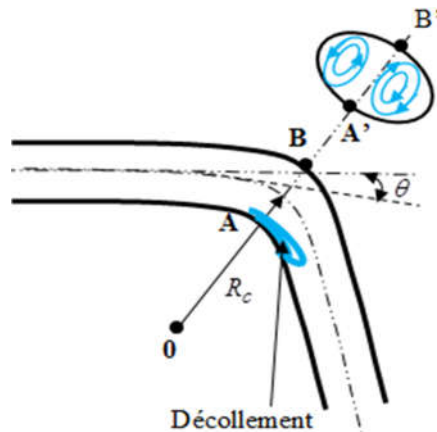


Figure 3 : schématisation d'un coude arrondi

La figure 3 représente les caractéristiques du coude arrondi dont dépend le coefficient de perte de charge et qui est donné par la relation :

$$K = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R_c} \right)^{7/2} \right] \frac{\theta}{90^\circ} \quad (9)$$

b) Coude à angle vif

Pour les coudes à angle vif, la perte de charge est due à deux tourbillons qui apparaissent, l'un au niveau de la jonction des deux conduites formant le coude vif, et l'autre, légèrement à l'aval de cette jonction. Cette singularité provoque aussi un changement dans l'allure du profil de vitesses et de pressions.

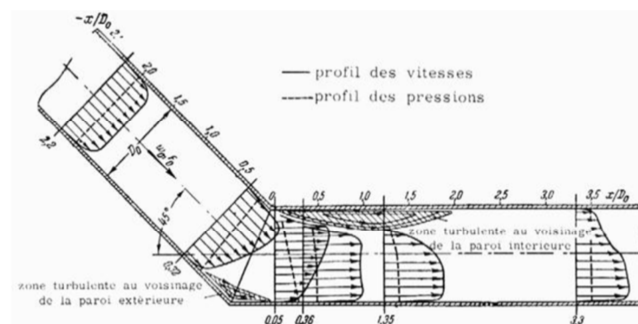


Figure 4 : schématisation d'un coude à angle vif

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

$$K = 2 \sin^2(\theta) + 2 \sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (10)$$

On peut également utiliser la relation de Weisbach :

$$K = 0,947 \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) + 2,047 \sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (11)$$

✚ Changement de section

Il existe quatre types de changement de section :

a) Élargissement brusque de section :

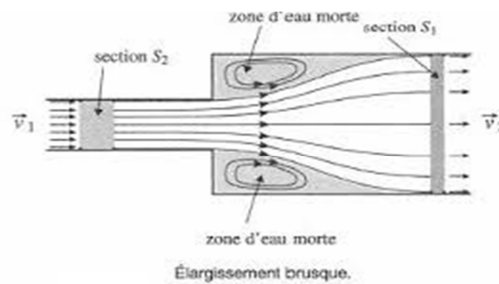


Figure 5 : schématisation d'un élargissement brusque

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

$$K = \left[1 - \left(\frac{S_1}{S_2} \right) \right]^2 \quad (12)$$

b) Rétrécissement brusque de section

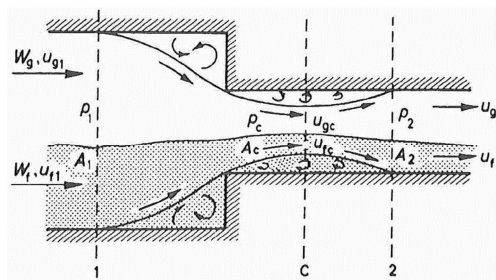


Figure 6 : schématisation d'un rétrécissement brusque

Le coefficient de perte de charge singulière K d'un rétrécissement brusque est calculé à l'aide de la relation :

$$K = 0,5 \left(1 - \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \right) \quad (13)$$

c) Convergent :

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

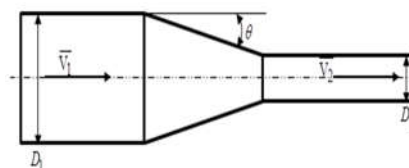


Figure 7 : schématisation d'une convergent

d) Divergent :

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

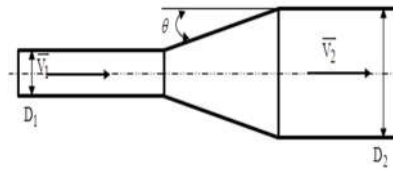


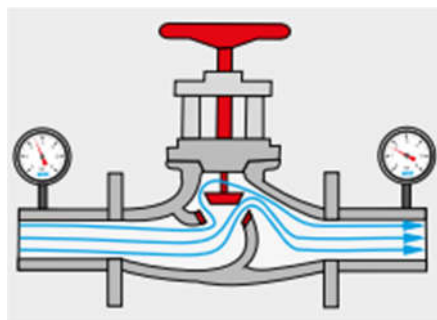
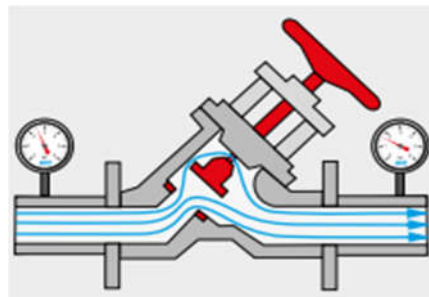
Figure 8 : schématisation d'une divergent

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

$$K = 3,2 \left(\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \right)^{1,25} \left(1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right)^2 \quad (14)$$

🔧 robinetteries d'arrêt

Les robinetteries d'arrêt sont utilisées pour stopper le débit dans des systèmes de tuyauterie. Les robinetteries d'arrêt les plus courantes sont les soupapes **à tête inclinée**, robinets et robinets-vannes. La fermeture se fait de façon différente selon le type de robinetterie. La traversée des différentes robinetteries entraîne des pertes de charge différentes en fonction de la géométrie et de l'état d'ouverture



Le coefficient de débit K des robinetteries est défini pour différents états d'ouverture en utilisant le débit Q_v et le différentiel de pression Δp entre l'entrée et la sortie de la robinetterie

$$K = Q_v \times \sqrt{\frac{1 \text{ bar}}{\Delta p}} \quad (15)$$

3. Partie expérimentale

3.1. Banc d'essai

L'appareil d'essai comprend six sections de tuyau différentes, que l'on peut obturer de manière individuelle. Les sections de tuyau sont équipées d'éléments de tuyauterie tels que des coudes, équerres ou jonctions. Dans une section de tuyau, il est possible de placer plusieurs robinetteries et organes déprimogènes pour la détermination du débit. Les organes déprimogènes sont transparents, afin d'offrir une bonne visibilité sur la construction intérieure. Les points de mesure de la pression dans le système de tuyauterie ont la forme de chambres annulaires. Cela permet une mesure précise de la pression.

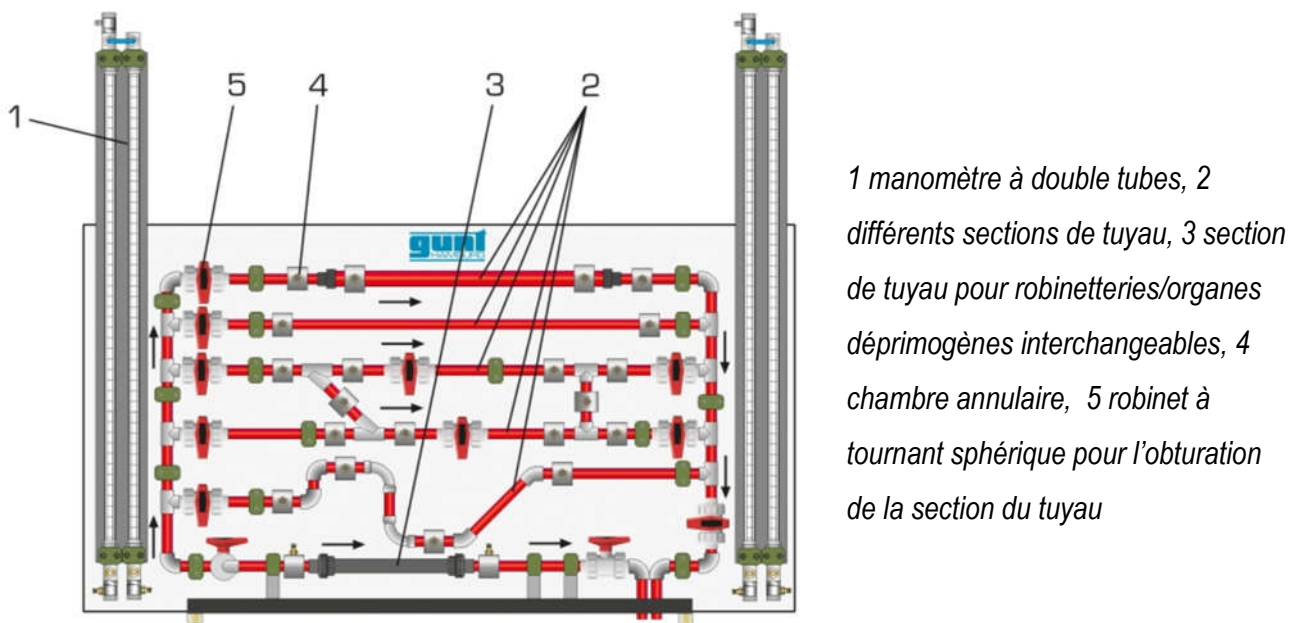


Figure 8 : Description du banc d'essai.

Robinetteries d'obturation et organes déprimogènes pour la détermination du débit :

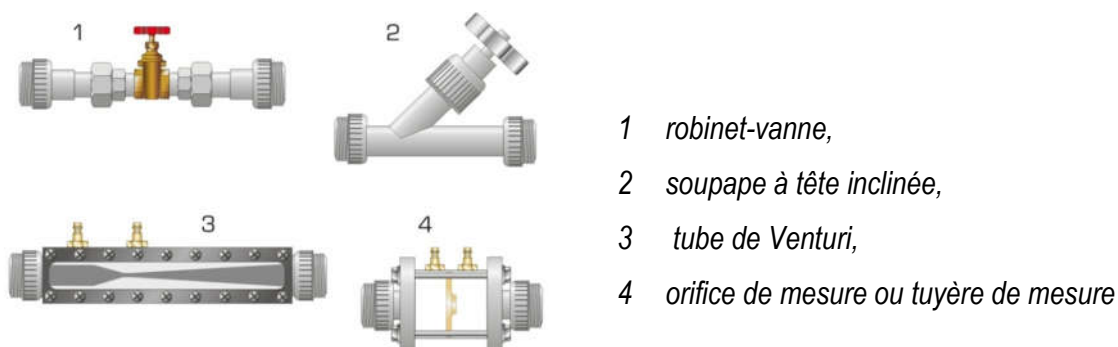


Figure 9 : organes déprimogènes pour la détermination du débit

3.2. Mesures expérimentales

Remplir le tableau suivant :

D=17mm, longueur: 800mm					D= 28.4mm, longueur: 800mm				
N°	Q _V (l/min)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	ΔH (mm)	N°	Q _V (l/min)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	ΔH (mm)
1					1				
2					2				
3					3				
4					4				
5					5				
6					6				
7					7				

Tableau 1 : La perte de charge dans un élément de tuyauterie droit

Retroussement brusque: D ₁ =28,4 mm- D ₂ =17 mm					élargissement brusque: D ₁ =17 mm- D ₂ =28,4 mm				
N°	Q _V (l/min)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	ΔH (mm)	N°	Q _V (l/min)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	ΔH (mm)
1					1				
2					2				
3					3				
4					4				
5					5				
6					6				
7					7				

Tableau 2 : Perte de charge dans un rétrécissement et élargissement brusque de la section

Les jonctions (D _i = 17 mm)					Les coudes à angle vif (D=17mm)			
N°	Q _V (l/min)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	h ₃ (mm)	N°	Q _V (l/min)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)
Y (45°)					45°			
T (90°)					90°			

Tableau 3 : Perte de charge dans les jonctions et les coudes

robinet-vanne				soupape à tête inclinée			
Tours	Q_v (l/min)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	Tours	Q_v (l/min)	h_1 (mm)	h_2 (mm)
0 (fermé)				0 (fermé)			
$\frac{1}{2}$				$\frac{1}{2}$			
$\frac{3}{4}$				1			
1				2			
$1 + \frac{1}{4}$				$2 + \frac{1}{2}$			
$1 + \frac{1}{2}$				3			
$1 + \frac{3}{4}$				$4 + \frac{1}{2}$			
2				6			
$2 + \frac{1}{2}$				8			
$3 + \frac{1}{2}$				10			

Tableau 4 : Perte de charge dans les deux types des robinetteries

4. Travail demandé

- 1) Introduction sur le TP
- 2) Remplir les tableaux à partir des mesures expérimentales effectuées.
- 3) Tracer et interpréter $\Delta H_{(mesurée)}$ en fonction de débit pour les éléments de tuyauteries droit.
- 4) Tracer et interpréter $\Delta H_{(mesurée)}$ en fonction de débit pour rétrécissement et élargissement brusque de la section.
- 5) Faites une comparaison entre les deux coudes (45°) et (90°) et les deux jonctions Y et T
- 6) Tracer la variation du débit Q_v en fonction de l'ouverture x pour les deux types des robinetteries (robinet-vanne, soupape à tête inclinée)
- 7) Donner une conclusion générale sur TP

Compte-rendu TP

1) Introduction sur le TP

.....

.....

.....

.....

.....

2) Remplir les tableaux à partir des mesures expérimentales effectuées.

D=17mm, longueur: 800mm					D=28.4mm, longueur: 800mm				
N°	Q_V (l/min)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	ΔH (mm)	N°	Q_V (l/min)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	ΔH (mm)
1					1				
2					2				
3					3				
4					4				
5					5				
6					6				
7					7				

Tableau 1 : La perte de charge dans un élément de tuyauterie droit

Retroussement brusque: $D_1=28,4$ mm- $D_2=17$ mm					élargissement brusque: $D_1=17$ mm- $D_2=28,4$ mm				
N°	Q_V (l/min)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	ΔH (mm)	N°	Q_V (l/min)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	ΔH (mm)
1					1				
2					2				
3					3				
4					4				
5					5				
6					6				
7					7				

Tableau 2 : Perte de charge dans un rétrécissement et élargissement brusque de la section

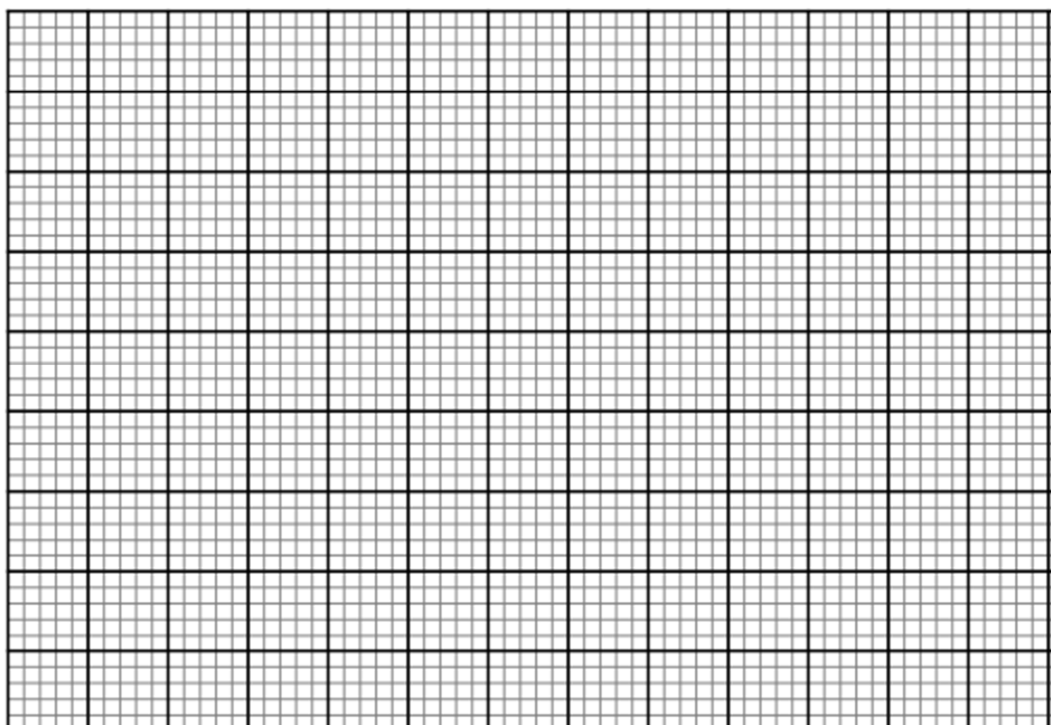
Les jonctions ($d_i = 17$ mm)					Les coudes à angle vif ($d=17$ mm)			
N°	Q_V (l/min)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_3 (mm)	N°	Q_V (l/min)	h_1 (mm)	h_2 (mm)
Y (45°)					45°			
T (90°)					90°			

Tableau 3 : Perte de charge dans les jonctions et les coudes

robinet-vanne				soupape à tête inclinée			
Tours	Q_V (l/min)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	Tours	Q_V (l/min)	h_1 (mm)	h_2 (mm)
0 (fermé)				0 (fermé)			
$\frac{1}{2}$				$\frac{1}{2}$			
$\frac{3}{4}$				1			
1				2			
$1 + \frac{1}{4}$				$2 + \frac{1}{2}$			
$1 + \frac{1}{2}$				3			
$1 + \frac{3}{4}$				$4 + \frac{1}{2}$			
2				6			
$2 + \frac{1}{2}$				8			
$3 + \frac{1}{2}$				10			

Tableau 4 : Perte de charge dans les deux types des robinetteries

3) Tracer et interpréter $\Delta H_{(mesurée)}$ en fonction de débit pour les éléments de tuyauteries droit.



Graph 1 : la variation de $\Delta H_{(mesurée)}$ en fonction de débit pour les éléments de tuyauteries droit.

Interprétation du graph 1

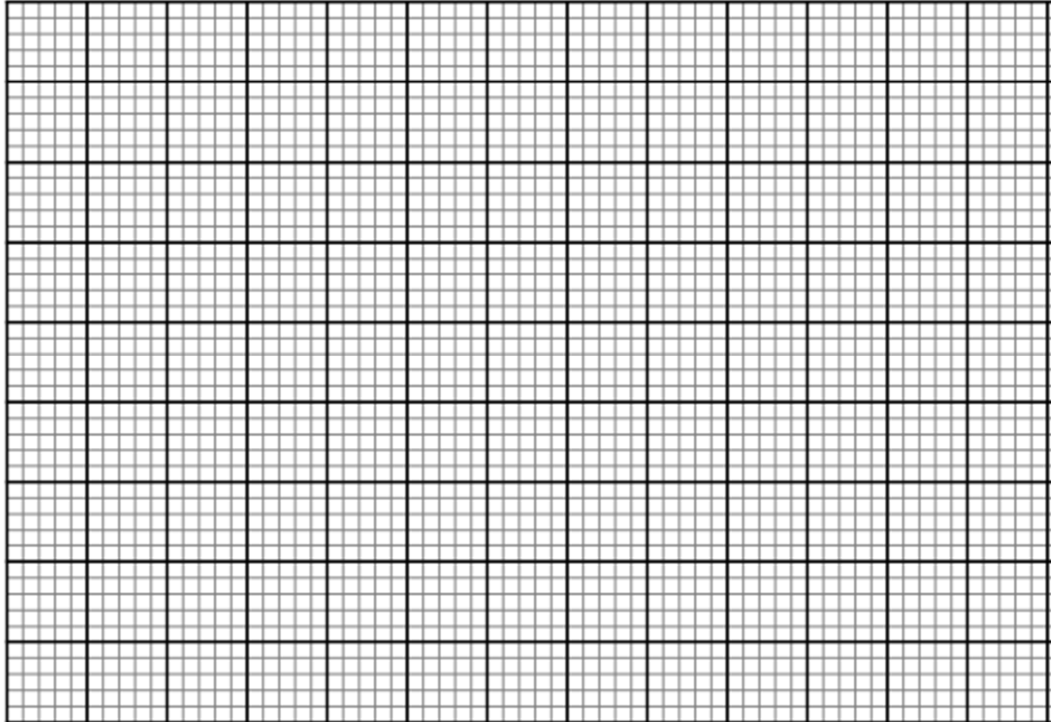
.....

.....

.....

.....

- 4) Tracer et interpréter $\Delta H_{(mesurée)}$ en fonction de débit pour rétrécissement et élargissement brusque de la section.

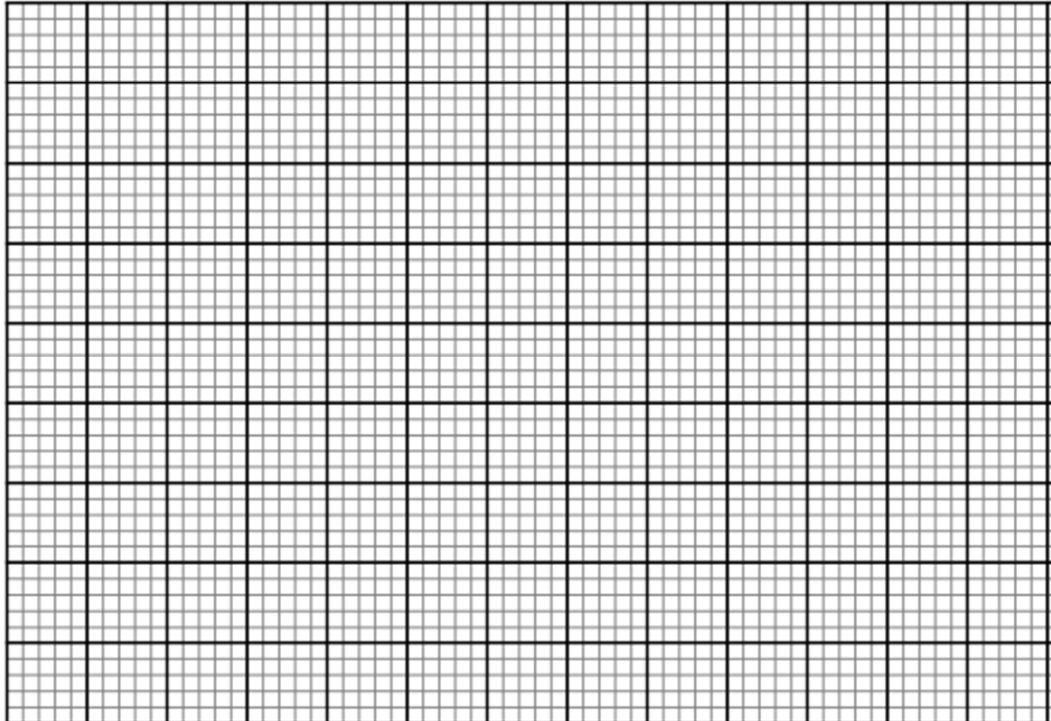


Graph 2 : la variation de $\Delta H_{(mesurée)}$ en fonction de débit pour rétrécissement et élargissement brusque de la section.

Interprétation du graphe 2

- 5) comparaison entre les deux coudes (45°) et (90°) et les deux jonctions Y et T

- 6) Tracer la variation du débit Q_v en fonction du tour pour les deux types des robinetteries (robinet-
vanne, soupape à tête inclinée)



Graphe 3 : la variation du débit Q_v en fonction du tour pour les deux types des robinetteries (robinet-
vanne, soupape à tête inclinée)

Interprétation du graphe 3

7) Conclusion

Liste des références

- Documentation didactique multimédia pour les montages de GUNT, (site web : <https://www.gunt.de/fr/produits/mecanique-des-fluides/glct-1:pa-149:ca-139>), dernière consulté le 26/11/2021.
- J.B. POULET, Cahier de travaux pratiques, Ecole Nationale supérieure des arts et industries de Strasbourg, laboratoire de mécanique des fluides appliquées, 1983-1984
- M.F. JIBAWI, Travaux pratiques de mécanique des fluides, université d'Oran, institut des sciences exactes, département de physique, 1985-1986.
- M. ADJMI, travaux pratiques de mécanique des fluides et d'hydraulique (Partie A), université de Tlemcen, département d'hydraulique, 2008
- T.STAMBOUL, travaux pratiques 'statique et dynamique des fluides', université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, département d'énergétique et de mécanique des fluides, 2009-2010.
- B. GUEMOU, Travaux pratiques De Mécanique des fluides (ESP &ESL), Université d'Ain Temouchent, Département de Génie de l'eau et de l'environnement, 2017- 2018
- R.V. Giles, J.B. Evett, C. Liu, Mécanique des Fluides et Hydraulique, Série Schaum, 1975.
- R. Comolet, mécanique expérimentale des fluides « Statique et dynamique des fluides non visqueux », Elsevier Masson, 1990
- R. Ouziaux, J. Perrier, Mécanique des fluides appliquée, DUNOD, 2004.
- S. Amiroudine et J.L. Battaglia, Mécanique des fluide, DUNOD, 2017.

