

**Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique**

**Université Amar Telidj de Laghouat
Faculté des sciences et sciences de l'ingénieur
département de génie civil**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الجمامعي عمار
الدرجي بالاعوان
كلية العلوم وعلوم الهندسة
قسم الهندسة المدنية

Laboratoire Pédagogique

Polycopé des Travaux pratiques

D'HYDRAULIQUE

Déstiné aux étudiants de 3^{ème} ingénieur

PARTIE

I

T.P N°1 : Etalonnage d'un Manomètre

1-Introduction :

Divers types d'appareils de mesure de pression sont disponibles, le plus simple est bien sûr le Tube Manomètre (Piézomètre) dans lequel le niveau du liquide indique la charge statique ou la pression.

L'un des Appareils les plus utilisés est le Manomètre type Bourdon (appelé par son inventeur Eugène Bourdon), il utilise l'extension d'un tube de section ovale pour faire bouger l'aiguille sur une échelle. Le temps de réponse de l'appareil est assez long (1 s), mais grâce à sa simplicité et à son faible coût, et à la large gamme d'intervalle de pression disponible, le Manomètre type Bourdon est largement utilisé.

Tous les instruments de mesure de pression ont besoin d'être étalonnés. Si une faible précision suffit à l'utilisateur, un étalonnage standard d'un seul échantillon du modèle est largement suffisant, par contre, si une précision importante est exigée, le fabricant doit impérativement délivrer un certificat d'étalonnage individuel pour chaque appareil.

Pour assurer le bon fonctionnement de l'appareil, un étalonnage est nécessaire de temps à autre. La procédure habituelle est de charger l'appareil avec des pressions connues et comparer les lectures.

2- But du T.P :

Le but du présent T.P est de vérifier l'exactitude de mesure d'un Manomètre type Bourdon, en comparant les lectures de l'appareil avec les valeurs réelles des pressions provoquées par un piston.

3-Description de l'appareil :

Le Manomètre à étudier est un Manomètre type Bourdon cité ci-dessus, le mécanisme de l'appareil est visible à travers la plaque transparente qui le couvre (voir figure-1-), il est composé d'un tube ovale à mince paroi recourbé sur (270°) , le tube est fixé à l'une de ces extrémités, par laquelle le liquide sous pression pénètre, et il est libre à l'autre extrémité obturée. Le Manomètre est relié à un piston, de section connue, par un tube transparent, en appliquant des charges sur le piston des pressions sont provoquées et transmises au manomètre.

Soumis à une pression, le tube se redresse et actionne un système mécanique qui fait déplacer l'aiguille du Manomètre proportionnellement à la pression appliquée.

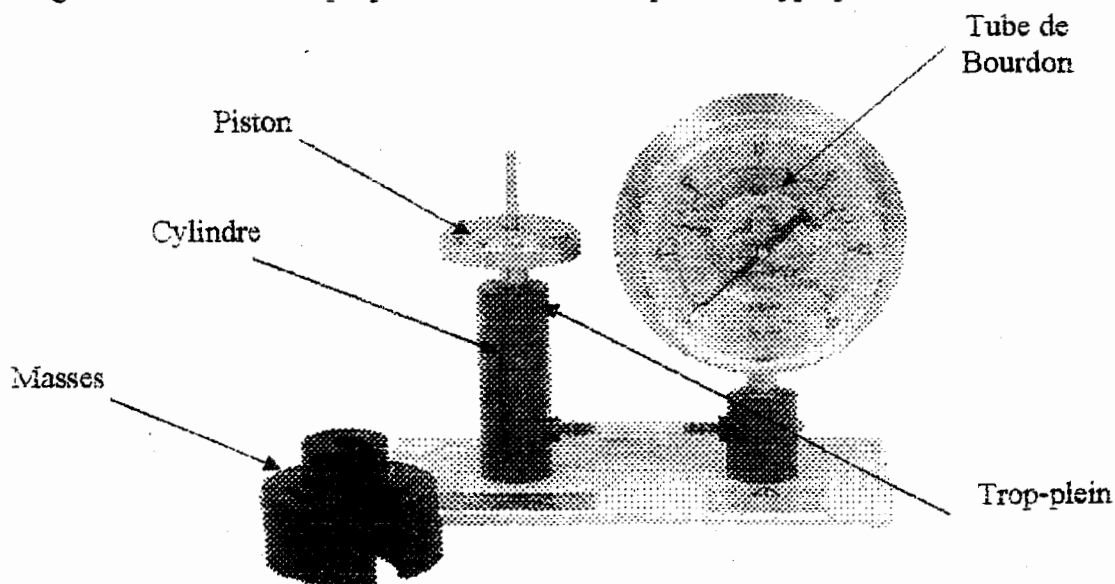


Figure-1-

4- Manipulation :

Tout d'abord il faut enlever le piston de l'appareil, remplir le cylindre avec de l'eau et éliminer toutes les bulles d'air bloquées dans le tuyau transparent qui lie le piston au Manomètre, ensuite laisser le piston trouver sa position d'équilibre. S'assurer que le cylindre est bien verticale, et commencer à placer les masses en huit fois jusqu'à la masse totale de (5.2 kg). Placer les masses progressivement, la pression doit être lue pour chaque incrément de masse.

Pour éviter le collage du piston, il faut le faire tourner légèrement lorsqu'on ajoute une masse. Après avoir atteint la masse totale, faire la manipulation dans l'ordre inverse et noter à chaque fois les couples Pression/masse.

5- Trafail à effectuer :

1- Remplir le tableau ci-dessous, sachant que la pression (P) provoquée par une masse (m) (englobant la masse du piston) est donnée par la formule suivante :

$$P = (mg/S) 10^{-3} \text{ KN/m}^2$$

Où S : est la section du piston.

Tableau -1-

Masse ajoutée	Masse totale	Pression réelle	Augmentation de pression		Diminution de pression	
			Lecture Manomètre	Erreur relative	Lecture Manomètre	Erreur relative
kg	kg	KN/m ²	KN/m ²	%	KN/m ²	%

2-Tracer la courbe des Lectures du Manomètre en fonction des pressions réelles, ainsi que la courbe des erreurs de mesure en fonction des pressions réelles. En précisant les points relatifs au cas d'augmentation de pression et les points relatifs à la diminution de pression.. Discuter.

6- Questions supplémentaires :

- 1) Quelles améliorations peut-on apporter à cet appareil pour le rendre plus efficace.
- 2) Déterminer l'influence de la différence de niveau entre le piston et le tube de Bourdon. Déterminer la correction à appliquer pour un tube de Bourdon dont le centre est à (200 mm) plus haut que la base du piston.
- 3) Comment doit-on modifier le piston de la balance manométrique pour étalonner des Manomètres couvrant une gamme de 3500 KN/m² avec les mêmes masses.

T.P N°2 : Propriétés des liquides

1-Introduction:

La mécanique des fluides est la science qui traite du comportement des fluides (liquides et gaz), cette branche de la science traite les aspects statique, cinématique et dynamique des fluides.

Ces aspects sont directement conditionnés par la nature du fluide, cette dernière se traduit par les propriétés du fluide, dont les principales sont:

- La masse volumique
- La densité
- La tension superficielle
- La viscosité

En hydraulique le liquide traité est toujours l'eau.

2-But de l'expérimentation:

Le but de ce T.P est la détermination des principales propriétés des liquides et la connaissance de divers moyens de mesure.

3-Travail expérimental :

Toutes les manipulations se font sur un même banc hydrostatique.

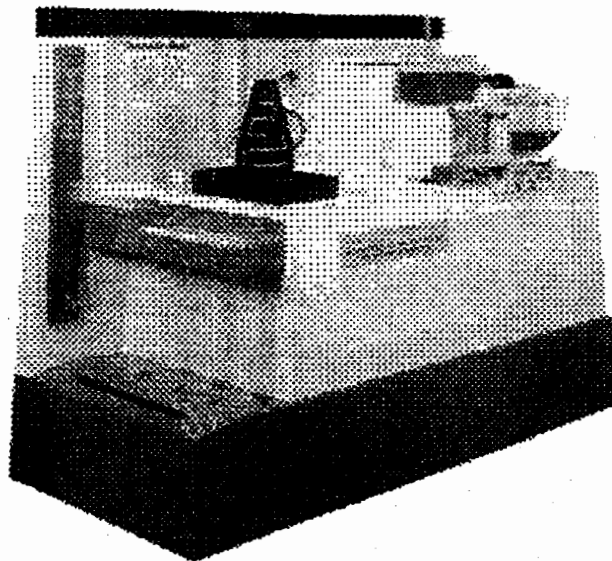


Figure-1-: Banc hydrostatique

3-1-Détermination de la masse volumique:

La détermination de la masse volumique se fait essentiellement par deux méthodes:

a)- Becher gradué:

Un simple b cher gradué et une balance de précision sont utilisés pour déterminer la masse volumique en suivant les étapes suivantes:

- 1- Peser le b cher vide;
- 2- Remplir le b cher avec de l'eau à une graduation précise, et lire le volume correspondant;
- 3- Peser le b cher rempli, la masse de l'eau sera égale à la différence des masses du b cher rempli et vide.

- 4- La masse volumique sera donc: $\rho = \frac{m_L}{V}$, [Kg/m³], où m_L est la masse du liquide et V le volume.

Sachant que la masse volumique de l'eau à 20 C est de 998,2 Kg/m³.

b)- Fiole de densité:

La mesure exacte du volume du liquide peut se faire en utilisant la fiole de densité, celle-ci a un volume précis de 50ml. La mesure de la masse volumique par ce procédé se fait suivant les étapes suivantes:

- 1- Peser la fiole vide avec son bouchon;
- 2- Remplir la fiole et la reboucher;
- 3- Sécher les parois de la fiole et vérifier que le niveau du liquide est à l'extrémité supérieure du bouchon;
- 4- Peser à nouveau la fiole et déterminer la masse du liquide ainsi que la masse volumique.

Cette méthode devra donner un résultat plus précis.

c)- Burette d'Eureka:

La burette d'Eureka est un récipient à bec fixe, si elle est remplie jusqu'au débordement du liquide, le niveau reste juste au niveau de l'ouverture du bec et si on place un objet à l'intérieure, le volume déversé sera égale au volume du corps introduit. Ceci permet d'obtenir un volume connu de liquide:

- 1- Prendre un objet solide de dimensions connues
- 2- Remplir la burette jusqu'à débordement.
- 3- Peser un bécher vide, puis le placer sous le bec de la burette.
- 4- Immerger l'objet dans la burette et recueillir le liquide dans le bécher, puis re-peser le bécher et le liquide.

La masse du liquide serait la différence entre les masses du bécher vide et rempli et le volume est celui de l'objet. La masse volumique peut être donc déterminer par le rapport de la masse et du volume.

3-2- Détermination de la densité:

Pour déterminer la densité d'un liquide on utilise un instrument spécialement calibré appelé densimètre. Celui-ci a la forme d'un flotteur en verre creux fait pour rester droit dans des liquides de diverses densités.

La profondeur à laquelle la tige pénètre dans le liquide correspond d'une mesure directe de la densité ou la masse volumique.

On utilise dans cette manipulation deux liquides de l'huile et de l'eau; on laisse le densimètre flotter dans chaque liquide et on lis directement la valeur de la masse volumique.

3-3- Capillarité et tension superficielle:

Sous l'effet de la tension superficielle l'eau monte dans les interstices et surfaces étroites et présente ce qu'on appelle la remontée capillaire. On déterminera ici les hauteurs capillaires dans différents tubes capillaires et plaques, ainsi que la tension superficielle qui s'exerce.

a)- Cas des tubes:

La hauteur capillaire dans les tubes est gouvernée par l'expression suivante:

$$h_t = \frac{4\sigma}{\rho g d}$$

Où: h_t : la hauteur capillaire.

σ est la tension superficielle

D le diamètre du tube capillaire

Et ρ la masse volumique du liquide.

Pour déterminer la tension superficielle il suffit de mesurer la hauteur capillaire de chaque tube.

Sur le banc hydrostatique on a deux tubes capillaires de diamètres 0,4 et 1,6 mm.

b)- Cas des plaques planes:

Dans ce cas-ci la hauteur capillaire est donnée par l'expression:

$$h_p = \frac{2\sigma}{\rho g b}$$

Où b est la distance entre les deux plaques jointes, celle-ci est assurée dans la présente expérimentation par des bandes plastiques, qui disposées entre des plaques en verre assure un espace interstitielle d'épaisseur égale à l'épaisseur des bandes plastiques.

Sur le banc hydrostatique on dispose de plusieurs bandes de diverses épaisseurs:

Couleur de la bande plastique	Epaisseur (mm)
Rouge	0,4
Noir	0,3
Violet	0,025
Bleu clair	0,175
Vert	0,075
Bleu foncé	0,050

Il est nécessaire de bien essuyer les bandes plastiques avant l'utilisation.

3-4-Mesure de la viscosité:

La détermination de la viscosité cinématique est basé sur l'expérience de Stokes, ce dernier a développé une expression qui lie la vitesse de chute d'une bille dans une colonne liquide à la viscosité cinématique suivant cette expression:

$$U = \frac{gd^2}{18\nu} \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right)$$

Où d: diamètre de la bille

σ : masse volumique de la bille

ρ : masse volumique du liquide

ν : viscosité cinématique

Pour chaque colonne liquide, la détermination de la viscosité se fait suivant les étapes suivantes:

- Tracer deux lignes séparées d'au moins 1m sur la colonne liquide.
- Mesurer la température du liquide.
- Faire tomber la bille dans le liquide et chronométrer le temps de chute.
- Mesurer la distance entre les deux lignes et calculer la vitesse de chute.
- Appliquer la formule de stokes et déterminer la viscosité.

T.P N°3 : Force de pression sur une paroi plane:

1-Introduction:

Depuis la nuit des temps l'homme a remarqué qu'un liquide bloqué par un obstacle exerce une poussée sur ce dernier quelle que soit sa forme. Cette poussée résulte de la pression du liquide exercé sur l'obstacle, cette force est appelée force de poussée hydrostatique. Celle-ci s'exerce sur un point appelé centre de poussée hydrostatique. La détermination de ces deux entités est capitale en hydrostatique.

2-But de la manipulation:

Le but du T.P est la détermination de la force de poussée hydrostatique sur une paroi plane verticale, ainsi que le point d'application de cette dernière appelé "centre de poussée".

3-Rappel théorique:

3-1-Force de poussée:

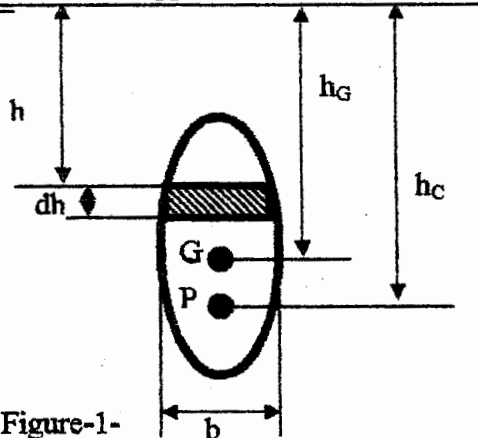


Figure-1-

Soit une surface plane entièrement immergée dans un liquide, figure-1-. Prenons un élément de surface de largeur dh situé à une profondeur h , la pression hydrostatique à ce niveau est:

$$P = \rho gh \quad \dots\dots\dots(1)$$

la section de l'élément de surface:

$$dS = dhb, \quad b \text{ étant la largeur de la surface.}$$

La force de pression totale exercée sur la surface plane:

$$F = \int (\rho ghb)dh = \rho g \int (bh)dh \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Mais: } \int (hb)dh = \int h dS = Sh_G \quad \dots\dots\dots(3)$$

Où: (Sh_G) est le moment statique de la surface par rapport à la surface libre.

$$\text{Donc: } F = \rho gh_G S \quad \dots\dots\dots(4)$$

Où h_G est la profondeur du centre de gravité de la section.

3-2-Centre de poussée:

Le centre de poussée est le point d'application de la force de pression, la profondeur de ce point est déterminée en utilisant le principe des moments par rapport à la surface libre.

$$Fh_C = \int dFh \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$Fh_C = \int \rho gbh(dh)h = \rho g \int h^2 dS = \rho gI$$

Où I est le moment d'inertie de la surface S par rapport à la surface libre, il est égal pour une

$$\text{section rectangulaire à } I = \frac{bh^3}{12} \quad \dots\dots\dots(6)$$

h_C est la profondeur du centre de poussée.

Par conséquent:

$$Fh_C = \rho gI$$

$$\Rightarrow \rho gh_G Sh_C = \rho gI$$

$$h_c = \frac{I}{h_G S} \dots\dots\dots(7)$$

Sachant que : $I = I_G + Sh_G^2 \dots\dots\dots(8)$

On aura:

$$h_c = \frac{I_G}{h_G S} + h_G \dots\dots\dots(9)$$

Où I_G est le moment d'inertie de la surface par rapport à un axe passant par le centre de gravité.

4-Description du dispositif expérimental:

Le dispositif expérimental est constitué d'un récipient qui peut pivoter autour d'un axe, ce récipient est formé d'une partie plane de 75mm de largeur et de 100mm de hauteur, et une partie circulaire de 100mm de diamètre. En versant du liquide dans le récipient il exerce une force de pression qui est équilibrée par un contrepoids formé de masses placé sur une tige de l'autre côté de l'axe distante de 200mm de ce dernier. La paroi plane doit toujours restée horizontale, Figure-2-.

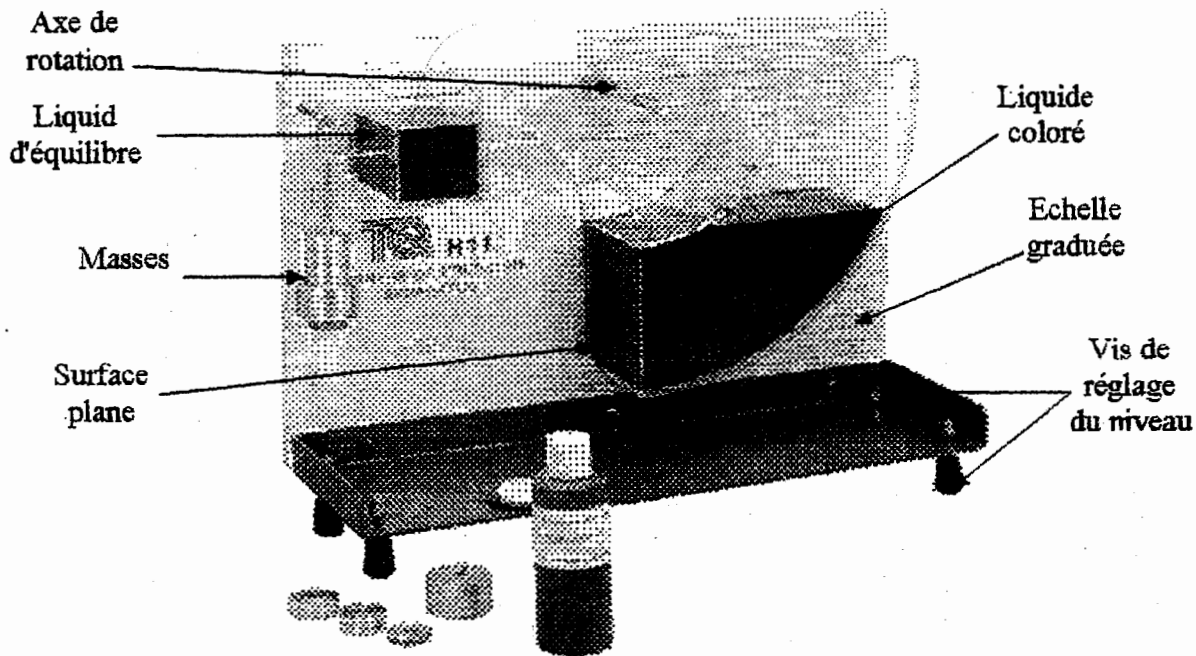


Figure-2-

5-Manipulation:

Avant tout il faut ajuster le dispositif à un niveau horizontal, ensuite on accroche à chaque fois une masse sur la tige des contrepoids, le système se déséquilibre et on l'équilibre avec du liquide jusqu'à ce qu'il retrouve sa position initiale horizontale. On mesure pour chaque profondeur du liquide correspondant.

Il faut distinguer deux cas; celui où la profondeur du liquide est inférieure à la hauteur de la plaque plane ($h < d$), figure-3a-, et celui où elle est supérieure ($h > d$), figure-3b-.

Figure-3a-

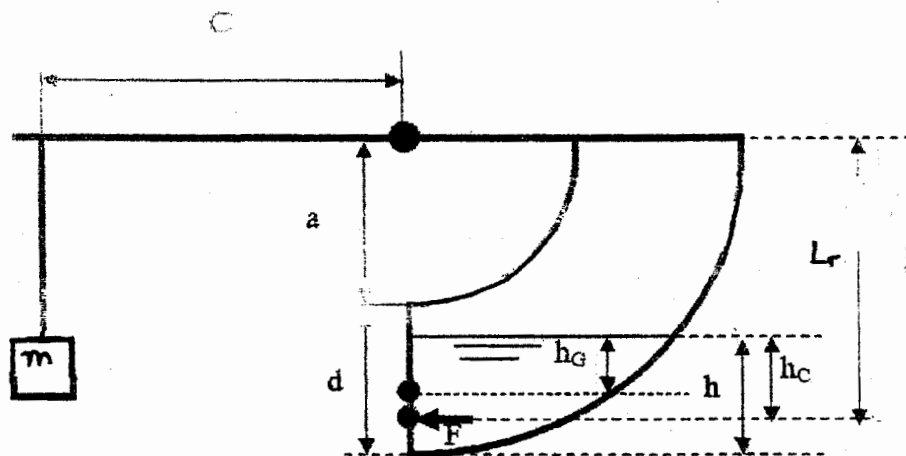
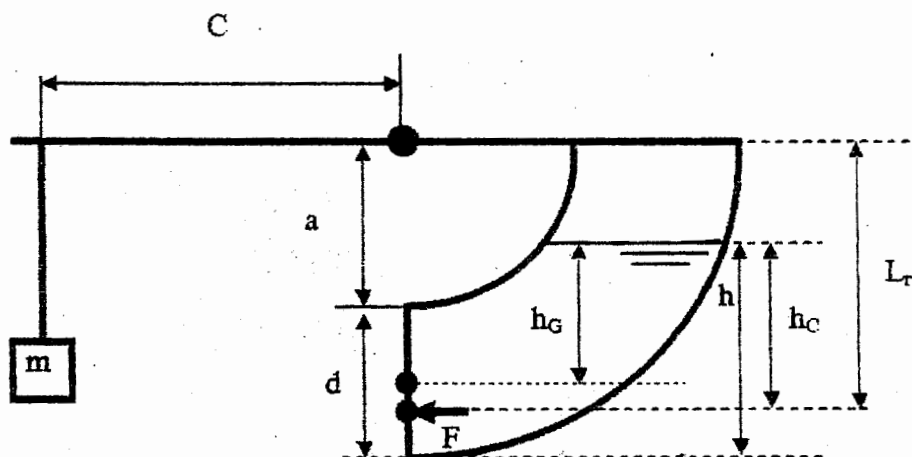


Figure-3b-



6-Travail a effectué :

1- Remplir le tableau suivant:

N°	m(g)	h(mm)	h_G (mm)	F(N)	$h_{C,anal}$ (mm)	$h_{C,exp}$ (mm)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						

Où: - m : masses du contrepoids.

- h: Profondeur du liquide.
- h_G : Profondeur du centre de gravité de la section.
- F: Force de poussée.
- h_{canal} : Profondeur du centre de poussée déterminée à l'aide de l'expression (9).
- H_{cexp} : Profondeur du centre de poussée déterminée par le principe des moments, suivant la figure -2-: $\sum M/o = 0 \Rightarrow mgc = FL_r$

$$L_r = \frac{mgc}{F}$$

Où: $L_r = a + d - h + h_{cexp}$
 $\Rightarrow h_{cexp} = L_r - (a + d) + h$ (10)

2- Comparer les valeurs de h_{cexp} et h_{canal} , discuter.

T.P N°4 : Equilibre des corps flottants

1-Introduction :

L'étude des conditions de stabilité est une partie importante dans le design des bateaux, des plateformes flottantes ...etc., pour garantir une stabilité parfaite du corps, dont l'importance de l'étude des corps flottants. Pour cela il est important de définir les termes suivants :

1-Corps flottant : On appelle corps flottant tout corps dont une partie se trouve immergée dans un liquide et l'autre partie se trouvant à la surface, et sur lequel s'exerce une force de poussée égale en valeur et opposée en direction au poids du corps.

2- Carène ; c'est le volume immergé du corps flottants.

3- Centre de carène : c'est le centre de gravité du volume immergé du corps dans lequel s'exerce une force de poussée (poussée d'Archimède).

4- Métacentre : c'est le point autour duquel le corps flottant commence à osciller quand il est incliné d'un angle petit .le corps flottant est en équilibre si le métacentre se trouve au dessus du centre de gravité, et si ces deux derniers points coïncident, l'équilibre est dit neutre

5- Distance métacentrique : c'est la distance qui sépare le métacentre du centre de gravité du corps flottant.

2- But de la manipulation :

Le but principal de la manipulation est la détermination de la distance métacentrique pour diverses positions du centre de gravité du corps flottant.

3- Rappels théorique :

3-1-Détermination du centre de carène :

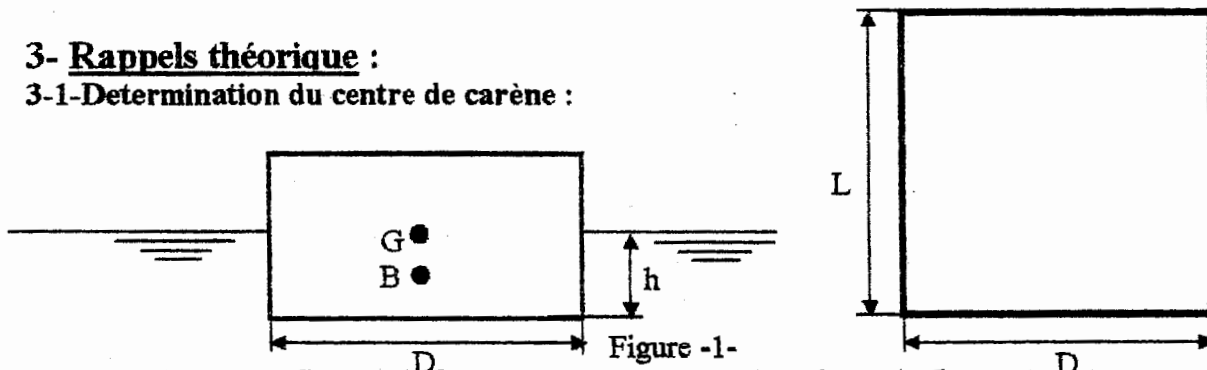


Figure -1-

Soit le corps flottant de forme rectangulaire représentée sur la figure -1 -. Ce corps subit une force de poussée dirigée vers le haut dont la valeur est égale au poids du liquide déplacé.

$$W = \rho g V$$

W : poids du corps.

V : Volume du liquide déplacé.

$$\text{Et : } V = DLh$$

Donc :

$$V = \frac{W}{\rho g} = DLh$$

$$\Rightarrow h = \frac{W}{\rho g DL}$$

$$OB = \frac{h}{2} = \frac{W}{2\rho g D}$$

3-2-Determination analytique de la distance métacentrique :

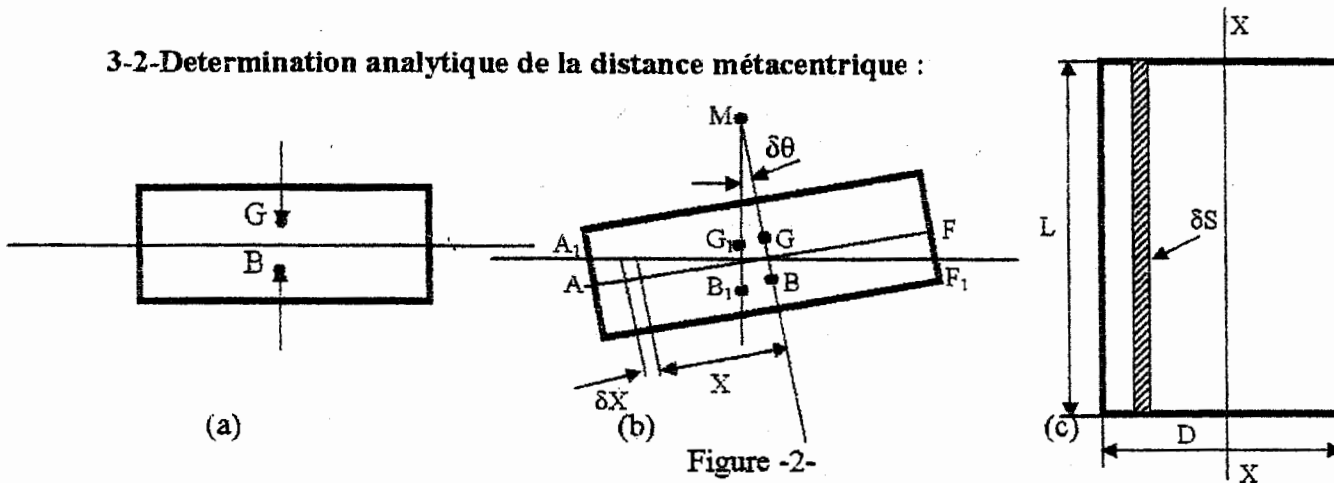


Figure -2-

La figure -2- montre un corps flottant en équilibre, si ce dernier est incliné d'un angle (θ) , une portion du corps immerge dans l'eau tandis qu'une autre portion semblable à la première émerge en même temps. Le moment de chaque portion par rapport à (B) peut être déterminé comme suit :

$$dS = \theta \times x dx$$

S : section de la portion.

Le moment sera :

$$M = \int \rho g x dx \times x$$

$$\Rightarrow M = \int \rho g x^2 \theta dx$$

Le moment total des deux portions :

$$M = 2 \int \rho g x^2 \theta dx$$

Ce dernier doit être égale au moment de déplacement du centre de caréné de (B) vers (B_1) , donc :

$$\rho g V(BB_1) = \int 2 \rho g \theta x^2 dx$$

V : Volume du liquide déplacé

$$BB_1 = BM \theta$$

θ : angle d'inclinaison assez petit

$$\Rightarrow V(BM) = 2 \int x^2 dx$$

En posant : $dA = dx$

$$\Rightarrow V(BM) = 2 \int x^2 dA$$

Il est clair que $(2 \int x^2 dA)$ est le moment quadratique de la surface de flottaison par rapport à l'axe (x, x) .

$$I = 2 \int x^2 dA$$

$$\Rightarrow V(BM) = I$$

$$\Rightarrow BM = \frac{I}{V}$$

La distance métacentrique sera :

$$GM = BM - BG = \frac{I}{V} - BG$$

3-3- Détermination expérimentale de la distance métacentrique :

Soit le dispositif expérimentale représenté sur la figure suivante :

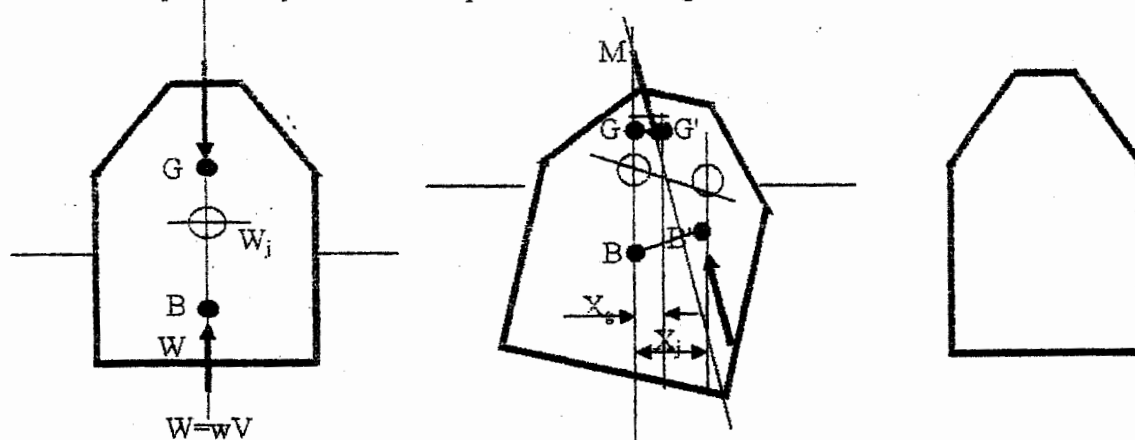


Figure-3-

Le centre de gravité du dispositif expérimentale change de position en déplaçant la masse mobile d'un coté à l'autre du positif en question , quand la masse se déplace d'une distance de (X_j), le centre de gravité bouge au point (G_1), la distance (GG_1) est donnée par l'expression suivante :

$$X_s = \frac{W_j X_j}{W}$$

Où W_j : poids de la masse mobile

W : poids total du dispositif.

Le déplacement de la masse mobile entraîne une inclinaison d'angle (θ) du dispositif, donc le centre de carène se déplacera de (B) vers (B_1). L'intersection des droites (BG) et (B_1G_1) donne le métacentre (M), par la suite la distance métacentrique sera :

$$GM = \frac{X_s}{\theta}$$

En supposant que (θ) est assez petit, et en remplaçant (X_s) par l'expression équivalente on obtient :

$$GM = \frac{W_j X_j}{W \theta}$$

Rappelons que (θ) est l'angle d'inclinaison due a un déplacement (X_j) de la masse mobile exprimé en radiant.

4-Description du dispositif expérimentale :

Le dispositif est schématisé sur la figure suivante :

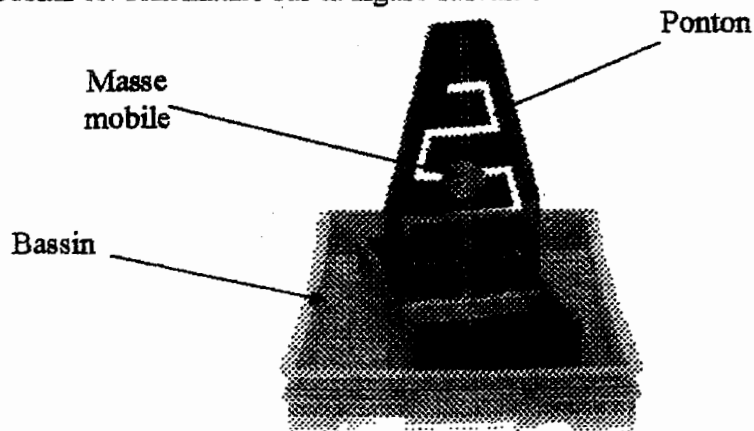


Figure-4-

L'appareil est constitué d'un ponton rectangulaire de largeur ($D=201.8$ mm) et une longueur de ($L=360.1$ mm). Un voile est monté sur le ponton comportant différents slots dans lesquels une

masse mobile ($m=388$ g) peut glisser à différentes hauteurs, le voile tient à son extrémité supérieure un fil à plomb qui permet de mesurer l'angle de gîte avec un rapporteur gradué en degrés fixé au ponton.

La hauteur du centre de gravité change en modifiant la position de la masse, le déplacement de cette dernière dans le sens horizontal provoque l'inclinaison du corps flottant.

5-Conduite de l'expérience :

Figure-5-

5-1-Determination du centre de gravité :

Pour déterminer cette hauteur le dispositif est suspendu par un petit trou situé sur un côté du voile, où un fil à plomb est aussi suspendu, la masse mobile est positionnée pour chaque hauteur sur l'axe du voile, le centre de gravité de l'ensemble est donné par l'intersection de l'axe du voile et le fil à plomb, on ajoutera l'épaisseur du ponton qui est égale à (2mm).

5-2- Détermination de la hauteur métacentrique :

Au niveau de chaque slot , on déplace la masse mobile horizontalement , chaque déplacement horizontal (X_j) correspond à un angle de gîte (θ) qui varie entre (0 et 8°), la position du métacentre sera déterminée par la méthode citée dans le paragraphe (3-3).

6-Travail a effectué :

1-Remplir les tableaux suivants :

Tab-1- Hauteurs du centre de gravité en fonction des positions de la masse mobile

Y_i (mm)	105	165	225	285	345
OG (mm)					

Tab-2- Angles de gîte en fonction des déplacements horizontaux et verticaux de la masse mobile

Y_i (mm)	Déplacement horizontal de la masse mobile					
	X_j (mm)					
105						
165						
225						
285						
345						

2-Tracer sur un même graphique les droites des déplacements (X_i) en fonction des angles de gîte (θ) pour chaque hauteur de la masse mobile.

3- Tracer la droite : $BG = f(X_i/\theta)$, où (X_i/θ) est le gradient de stabilité.

4- Que représente le point d'intersection de cette dernière droite avec l'axe des ordonnées ?
Déduire cette valeur analytiquement.

5-Determiner la hauteur métacentrique (GM) pour chaque hauteur de la masse mobile, et comparer ces valeurs avec celles déterminées analytiquement .Résumer les résultats dans le tableau suivant :

Tab-3- Hauteurs métacentriques

N°	Y_i (mm)	OG (mm)	X_i/θ (mm/deg)	BM (mm)	GM_{exp} (mm)	GM_{analy} (mm)
1						
2						
3						
4						
5						

T.P N°5 : Ecoulement dans un venturi

1-Introduction :

Le venturi est un appareil utilisé depuis longtemps pour la mesure des débits dans les conduites en charges. Le fluide circulant dans la conduite passe dans un convergent avant d'atteindre un col de section inférieure à celle de la conduite, la vitesse d'écoulement augmente dans le convergent, cette augmentation de vitesse correspond à une diminution de la pression qui est fonction du débit. En mesurant cette diminution de pression, on peut déduire la valeur du débit d'écoulement.

Après le col, le fluide passe dans un divergent où il perd de sa vitesse et remonte en pression.

2-But de la manipulation :

Le but du présent T.P est de décrire le principe de venturi pour la mesure des débits dans les conduites en charge, et de déterminer en outre toutes les caractéristiques de l'appareil.

3-Description de l'appareil :

La figure suivante est un schéma représentatif de l'appareil, ce dernier est fabriqué en matériau transparent. L'eau est fournie par une pompe qui refoule directement dans un tuyau flexible rattaché au venturi, un autre tuyau flexible conduit l'eau sortante de l'appareil vers le réservoir de mesure du banc hydraulique. Des prises de pression installées en divers points du venturi afin de mesurer la variation de pression piézométriques, elles sont reliées à un multimètres, les tubes piézométriques sont reliés entre eux à leurs partie supérieure par un collecteur qui permet de régler la quantité d'air contenue dans l'appareil. Le dispositif entier est monté sur un support à pieds réglables, qui permettent de mettre l'appareil à niveau.

Pour les venturi destinées à la mesure des débits dans les conduites en charge, une prise de pression à l'entrée du convergent et une autre au niveau du col sont largement suffisante pour effectuer les mesures de débits, par contre, une multitude de prises de pression le long du venturi permettent d'étudier la répartition des pressions.

4- Rappels théoriques :

Considérons l'écoulement d'un fluide incompressible dans un venturi (figure-2-), la section d'entrée (1) a une surface (A_1), la section du col a une surface (A_2), toutes les sections le long du venturi auront une section (A_n).

Les tubes piézométriques placés au niveau des sections (1), (2),....(n) indiquent respectivement les hauteurs piézométriques $h_1, h_2, \dots, h_n$.

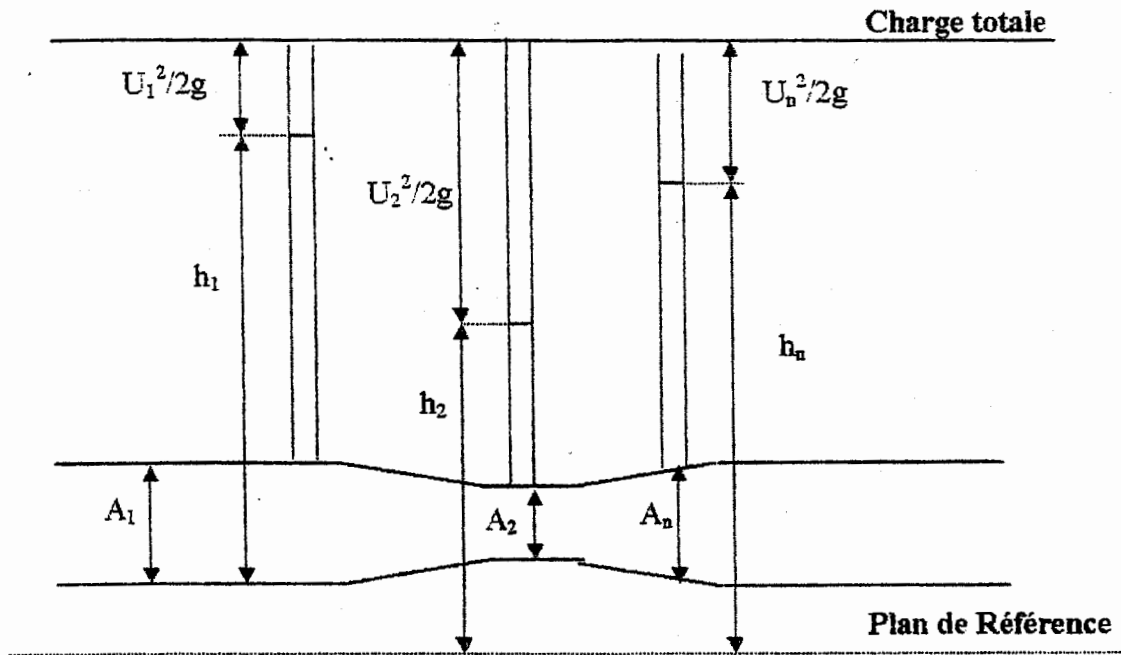


Figure-2- Ecoulement d'un fluide parfait dans un venturi

En supposant qu'il n'y a aucune perte de charge dans ce tronçon de conduit, et que les vitesses et que l'écoulement est permanent, l'équation de Bernoulli s'écrit :

$$\frac{U_1^2}{2g} + h_1 = \frac{U_2^2}{2g} + h_2 = \frac{U_n^2}{2g} + h_n \dots\dots\dots(1)$$

Avec U_1, U_2, U_n ; vitesses d'écoulement dans les sections 1, 2 et n .

En appliquant l'équation de continuité, on aura :

$$U_1 A_1 = U_2 A_2 = U_n A_n = Q \dots\dots\dots(2)$$

Avec Q ; le débit passant volumique passant par le venturi.

En remplaçant dans la formule (1) la valeur de (U_1) , on peut écrire que :

$$\frac{U_2^2 \left[\frac{A_2}{A_1} \right]^2}{2g} + h_1 = \frac{U_2^2}{2g} + h_2 \dots\dots\dots(3)$$

En résolvant cette équation en (U_2) , on trouve :

$$U_2 = \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \dots\dots\dots(4)$$

D'où la valeur du débit :

$$Q = A_2 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \dots\dots\dots(5)$$

En réalité, il y'a d'une part les pertes de charge entre les section (1) et (2) et d'autre part le fait que les vitesse ne sont pas constante sur les sections droite. Le débit réel est de ce fait légèrement inférieur à la valeur trouvée en (5), cette différence est décrite par le coefficient de débit (C), on peut donc écrire :

$$Q = CA_2 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \dots\dots\dots(6)$$

Le coefficient (C) est déterminé expérimentalement, il varie d'un venturi à un autre , ses valeurs sont comprises entre (0.92) et (0.99).

La distribution idéale des pressions le long d'un venturi est donnée par l'équation de Bernoulli (1):

$$h_n - h_1 = \frac{U_1^2}{2g} - \frac{U_n^2}{2g} \dots\dots\dots(7)$$

Pour la suite des calculs, et pour la comparaison des résultats théoriques et expérimentaux, il est pratique d'exprimer le rapport de $(h_n - h_1)$ et de la charge dynamique au niveau du col :

$$\frac{h_n - h_1}{\left(\frac{U_2^2}{2g}\right)} = \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 - \left(\frac{U_n}{U_1}\right)^2 \dots\dots\dots(8)$$

En remplaçant les rapport des vitesses par le rapport des surfaces des sections, et en utilisant l'équation de continuité, on peut écrire :

$$C_{ph} = \frac{h_n - h_1}{\left(\frac{U_2^2}{2g}\right)} \dots\dots\dots(9)$$

$$C_{ph} = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 - \left(\frac{A_2}{A_n}\right)^2 \dots\dots\dots(10)$$

$$C_{ph} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4 - \left(\frac{D_2}{D_n}\right)^4 \dots\dots\dots(11)$$

$$\text{Avec : } \frac{U_1}{U_2} = \frac{A_2}{A_1} \text{ et } \frac{U_n}{U_2} = \frac{A_2}{A_n} \dots\dots\dots(12)$$

Où ; (C_{ph}) est le coefficient de charge piézométriques, qui décrit la distribution de la charge piézométriques le long du venturi- mètre.

5- Conduite de l'expérience :

Avant de procéder au mesures, il faut tout d'abord effectuer la mise à zéro des manomètres, pour cela, il faut chasser les poches d'air de l'appareil en manoeuvrant la vanne d'alimentation du banc hydraulique et la vanne de réglage du débit afin que l'eau pénètre dans les tubes manométriques et comprime l'air contenu dans le collecteur. Quand l'eau atteint le niveau désiré dans les tubes, on referme la vanne d'alimentation du banc hydraulique. Les pieds réglables du support sont ensuite manœuvrés pour mettre l'appareil à niveau. Après la mise à zéro et la mise à niveau , tout les tubes doivent indiquer la même valeur, ensuite on ouvre progressive net la vanne de réglage des débit et on relève les valeurs indiquées par les tubes piézométriques , sans oublier de mesurer à chaque fois les différents débits. Il est tout de même possible de faire baisser le niveau du liquide dans les tubes piézométriques en introduisant de l'air par une valve placée à l'une des extrémités du multimètre à l'aide d'une pompe à vélo.

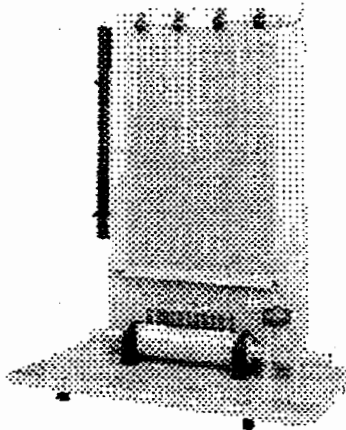


Figure-3-: Banc d'étude du venturi mètre

6- Travail a effectué :

A)- Détermination du coefficient de débit

1- Compléter le tableau suivant :

Tableau-1-

N°	V (l)	T (s)	h_1 (m)	h_2 (m)	Q (m ³ /s)	h_1-h_2 (m)	$(h_1-h_2)^{1/2}$ (m ^{1/2})	C
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								

2- Tracer la courbe : $(h_1-h_2)^{1/2}=f(Q)$. Discuter, et déduire le coefficient de débit (C) graphiquement et comparer cette valeur avec la moyenne des (C) du tableau -1-.

3- Tracer la courbe : $C=f(Q)$. Discuter.

B)- Détermination du (C_{ph}) par la formule (11)

1- Compléter le tableau suivant :

Tableau-2-

Section N°	X_n (mm)	D_n (mm)	D_2/D_n	$(D_2/D_n)^4$	C_{ph}
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

Où (X_n) : est la distance horizontale de la section considérée par rapport à l'origine.

2- Compléter le tableau suivant :

Tableau-3-

$Q = \text{ m}^3/\text{s}$		$U_2^2/2g = \text{ m}$	
Piézo.	h_n (m)	$h_n - h_1$ (m)	$C_{ph} = (h_n - h_1) / U_2^2/2g$
A(1)			
B			
C			
D(2)			
E			
F			
G			
H			
I			
J			
K			
L			

3- Tracer les courbes : $C_{ph} = f(X)$, à partir des résultats des tableaux (2) et (3), et en montrant la position en (X) de chaque section. à quoi est due la différence entre les deux courbes. Discuter.

T.P N°6 : Régimes d'écoulement (Expérience de Reynolds)

1-Introduction :

Il existe plusieurs régimes d'écoulement qui présentent des différences majeures entre eux. Les régimes d'écoulements étaient observés depuis longtemps, mais c'est grâce à Reynolds que ces régimes ont été mis en évidence expérimentalement.

L'expérience de Reynolds consiste à envoyer un liquide coloré au sein d'une masse liquide en mouvement, en ouvrant le robinet de vidange du dispositif expérimentale, on fait donc varier la vitesse d'écoulement. à de faibles vitesse, le liquide coloré forme un filet coloré parfaitement net et qui ne se mélange pas aux filets voisins, c'est le régime Laminaire ou tranquille. Si la vitesse augmente, le filet coloré paraît vibrer et osciller, il devient sinueux, dans ce cas on a un régime Transitoire ou un régime de passage. quand la vitesse augmente encore le filet coloré se rompt et se divise en un très grand nombre de particules animées chacune de mouvements transversaux désordonnés et l'écoulement devient uniformément coloré, ce régime est dit régime Turbulent.

2-But de la manipulation :

L'observation des régimes d'écoulement et la détermination du seuil de passage d'un régime à un autre (nombre de Reynolds correspondant à chaque régime).

3-Rappel théorique :

Les régimes d'écoulement sont caractérisés par un nombre adimensionnel appelé nombre de Reynolds :

$$R_e = \frac{VD}{\nu} = \frac{\rho VD}{\mu} \dots\dots\dots(1)$$

Avec : V : vitesse d'écoulement ;

D : diamètre du tube (12mm) ;

ν : viscosité cinématique du liquide ;

μ : Viscosité dynamique du liquide ;

ρ : masse volumique du liquide.

Le point de passage d'un régime à un autre est difficile à déterminer, mais on admet souvent un nombre de Reynolds de passage voisin de (2000).

Si : $R_e < 2000$, le régime est laminaire,

Si : $R_e = 2000$, le régime est transitoire,

Et si : $R_e > 2000$, le régime est turbulent.

Donc la condition requise pour le régime laminaire est :

$V < 2000 D / \nu$, c'est la vitesse critique inférieure.

La variation de la viscosité en fonction de la température est donnée par l'expression suivante :

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{1}{1 + \alpha t + \beta t^2} \right) \dots\dots\dots(2)$$

Avec: μ : viscosité dynamique du liquide à la température $t^\circ\text{C}$;

μ_0 : viscosité dynamique du liquide à la température 0°C .

Pour l'eau : $\mu_0 = 1.79 \cdot 10^{-3}$ poise

$\alpha = 0.03368$

$\beta = 0.000221$.

Où : $1 \text{ poise} = \frac{1 \text{ Ns}}{10 \text{ m}^2}$

4- Description du dispositif expérimental :

L'appareil de Reynolds est un dispositif très simple, il se compose d'un petit réservoir de colorant permettant de libérer une fine quantité de colorant dans l'écoulement afin de visualiser la veine liquide, ainsi qu'un réservoir d'eau muni d'un trop-plein pour maintenir une charge constante. L'écoulement se fait dans une conduite de 12mm de diamètre avec une vanne de réglage à l'extrémité. Un thermomètre pour mesurer la température du liquide. La mesure du débit se fait par la méthode volumétrique.

5-Manipulation :

On ouvre tout d'abord la vanne de vidange juste pour maintenir un filet coloré parfaitement net et séparé des filets voisins (régime laminaire), on ouvre ensuite petit à petit la vanne jusqu'au point où le filet coloré commence à vibrer et à être sinueux (régime transitoire), on ouvre encore la vanne jusqu'à ce que le filet se brise et l'écoulement devient uniformément coloré. A chaque fois on effectue une mesure du débit pour déterminer la vitesse d'écoulement.

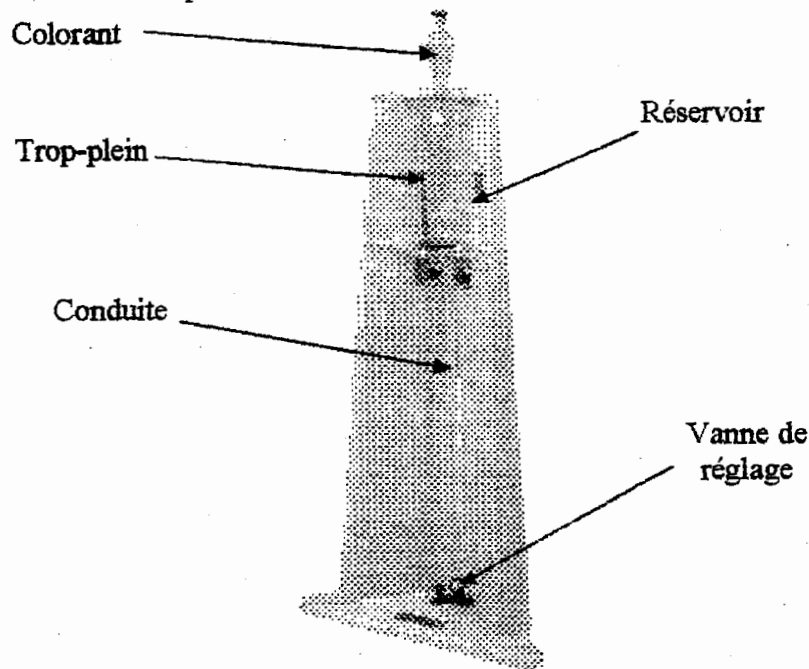


Figure-1-: Appareil de Reynolds

6-Travail à faire :

- 1- Mesurer la température de l'eau et déterminer la viscosité correspondante.
- 2- Décrire les différents régimes observés.
- 3- Déterminer la vitesse qui correspond à chaque régime et calculer le nombre de Reynolds correspondant.
- 4- Discuter les résultats.

T.P N°7 : Etude des écoulements à tourbillons libres et forcés :

1-Introduction :

L'équation de Bernoulli entraîne que la charge totale (H) est constante le long d'une ligne de courant d'un fluide incompressible, sans viscosité, en mouvement stationnaire, mais elle ne donne pas d'indications sur la façon dont varie (H) d'une ligne de courant à l'autre. Pour certains écoulements, on peut supposer que la charge (H) est aussi constante d'une ligne de courant à l'autre, c'est le cas par exemple de la charge totale (H) sur deux lignes de courant d'un écoulement stationnaire, d'un fluide non visqueux, à travers un orifice contenu dans un grand réservoir, la charge totale est constante le long de chaque ligne de courant, et elle est de la même valeur pour toutes les lignes de courant.

Pour d'autres écoulements comme par exemple un écoulement laminaire dans une conduite, la charge totale (H) varie nécessairement d'une ligne de courant à l'autre. La variation de (H) entre deux lignes de courant est fonction de la rotation de l'écoulement, lorsque (H) est uniforme entre les lignes de courant, l'écoulement est dit « irrotationnel », par contre si (H) varie d'une ligne de courant à l'autre le mouvement est « rotationnel ».

L'importance de ces concepts dans les applications de la mécanique des fluides aux machines hydrauliques (turbines, pompes..) conduit à étudier le cas particulier d'écoulement en rotation autour d'un axe fixe, ces écoulements reçoivent le qualificatif de tourbillons.

2-But de la manipulation :

Le but du présent T.P est l'étude des profils des surfaces d'écoulement tourbillonnaires, ainsi que la variation de la charge en fonction du rayon de rotation pour les tourbillons libres et forcés.

3-Rappels théoriques :

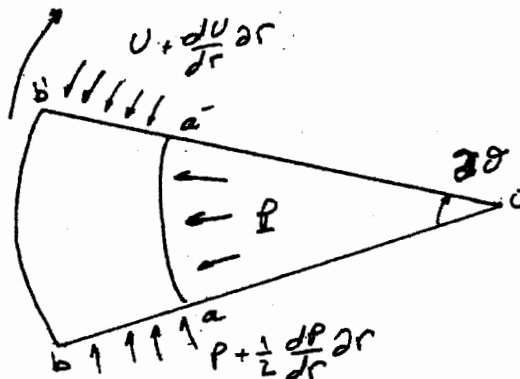


Figure-1- : Equilibre d'un élément fluide dans un écoulement tourbillonnaire.

Soit un mouvement stationnaire d'un fluide non visqueux, en rotation autour d'un axe « O ». La vitesse tangentielle (U) est fonction de la distance de l'élément fluide au centre de la trajectoire, en négligeant dans un premier temps les forces de gravité, la force centripète par unité de longueur de l'élément fluide peut être calculé à partir des pressions appliquées sur l'élément :

P sur (aa')

$$P + \frac{\partial P}{\partial r} \text{ sur } (bb')$$

$$P + \frac{1}{2} \frac{\partial P}{\partial r} \text{ sur } (ab) \text{ et } (a'b')$$

La force centripète est donc égale à :

$$-Pr\partial\theta + (P + \frac{dP}{dr}r)(r+dr)\partial\theta - 2(P + \frac{1}{2} \frac{dP}{dr}r)\sin(\frac{\partial\theta}{2})$$

Après simplification on obtient :

$$F = \frac{dP}{dr} r \partial\theta$$

La masse de l'élément fluide est égale à :

$$dm = \rho r dr d\theta$$

L'accélération centripète :

$$a = \frac{U^2}{r}$$

L'équation d'équilibre peut donc s'écrire :

$$\frac{dP}{dr} r dr d\theta = \rho r dr d\theta \frac{U^2}{r}$$

$$\Rightarrow \frac{dP}{dr} = \rho \frac{U^2}{r}$$

Ou:

$$\left(\frac{dP}{dr \rho r} \right) = \frac{U}{gr} \quad (1)$$

Le terme $(P/\rho g)$ est évidemment la hauteur manométrique statique, en introduisant les forces de pesanteur décrites par (Z) , l'expression (1) devient :

$$\frac{d}{dr} \left(\frac{P}{\rho g} + Z \right) = \frac{U^2}{gr} \quad (2)$$

La charge totale (H) est par définition :

$$H = \frac{U^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + Z \quad (3)$$

En différentiant par rapport à (r) :

$$\begin{aligned} \frac{dH}{dr} &= \frac{d}{dr} \left(\frac{U^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + Z \right) \\ \Rightarrow \frac{dH}{dr} &= \frac{d}{dr} \left(\frac{U^2}{2g} \right) + \frac{d}{dr} \left(\frac{P}{\rho g} + Z \right) \end{aligned} \quad (4)$$

Comme:

$$\frac{d}{dr} \left(\frac{U^2}{2g} \right) = \frac{U}{g} \frac{dU}{dr}$$

En remplaçant cette dernière ainsi que l'expression (2) dans (4) on obtient :

$$\begin{aligned} \frac{dH}{dr} &= \frac{U}{g} \frac{dU}{dr} + \frac{U^2}{gr} \\ \Rightarrow \frac{dH}{dr} &= \frac{U}{g} \left(\frac{dU}{dr} + \frac{U}{r} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

Soit le cas particulier d'un tourbillon satisfaisant la condition suivante :

$$U = \Omega r \quad (6)$$

Avec (Ω) : vitesse angulaire constante.

Le fluide tourne à la vitesse angulaire (Ω) comme un corps solide, ce mouvement est appelé tourbillon forcé.

En remplaçant (U) par sa valeur dans (2) on obtient :

$$\frac{d}{dr} \left(\frac{P}{\rho g} + Z \right) = \frac{\Omega^2 r}{g}$$

En intégrant on obtient :

$$\frac{P}{\rho g} + Z = \frac{\Omega^2 r^2}{2g} + C \quad (7)$$

Avec (C) : constante d'intégration.

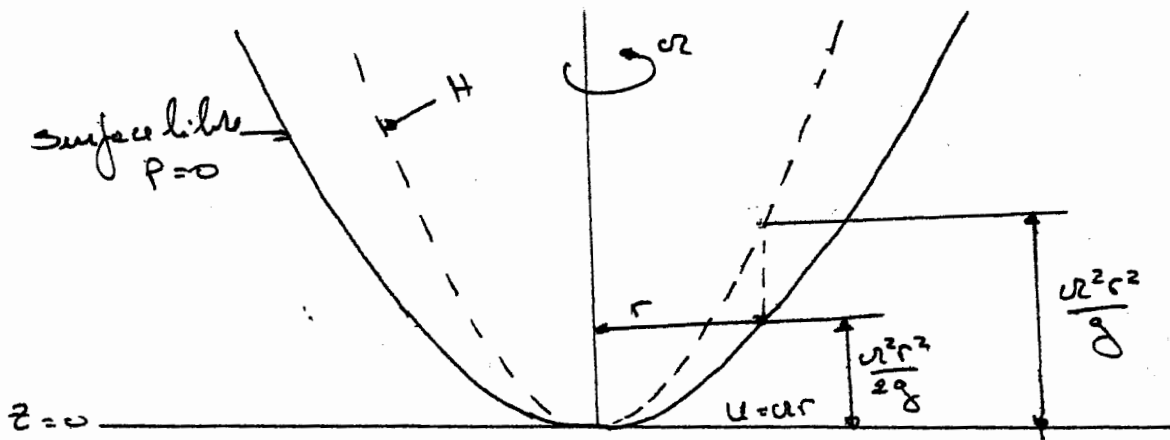


Figure-2- : Tourbillon forcé.

Si on admet l'axe de rotation et la pression atmosphérique comme référence, l'équation (7) devient :

$$\frac{P}{\rho g} + Z = \frac{\Omega^2 r^2}{2g} \quad (8)$$

A la surface libre, la pression est ($P=0$), on déduit donc l'expression de la surface libre d'un tourbillon forcé :

$$Z = \frac{\Omega^2 r^2}{2g} \quad (9)$$

Pour déterminer l'expression de (H), de l'expression (6) on obtient :

$$\frac{dU}{dr} = \Omega$$

En remplaçant cette dernière expression dans (5) et intégration, on obtient:

$$H = \frac{\Omega^2 r^2}{g} + C \quad (10)$$

La constante (C) s'annule en considérant ($H=0$) pour ($r=0$), d'où :

$$H = \frac{\Omega^2 r^2}{g} \quad (11)$$

Cette expression donne la variation de la hauteur manométrique totale en fonction du rayon.

Cet écoulement peut être produit expérimentalement en entraînant en rotation uniforme un récipient cylindrique autour de son axe. Ce mouvement est rotationnel.

Supposant maintenant qu'il existe un mouvement tourbillonnaire irrotationnel, c'est-à-dire un mouvement dont la hauteur totale ne varie pas entre deux lignes de courant, dans ce cas

l'équation (5) doit satisfaire la condition suivante : $\frac{dH}{dr} = \frac{U}{g} \left(\frac{dU}{dr} + \frac{U}{r} \right) = 0$

Donc :

$$\frac{dU}{dr} + \frac{U}{r} = 0$$

En intégrant, on obtient :

$$Ur = C \quad (12)$$

Avec (C) : constante d'intégration. $H = \frac{C^2}{2g r^2}$

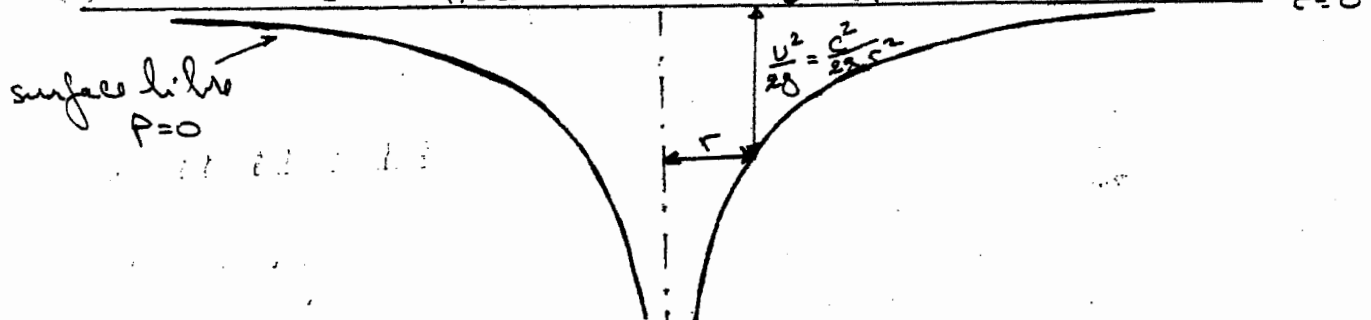


Figure-3- : Tourbillon libre.

On remarque que la surface libre tombe vers le centre, la dépression $(-Z)$ de la surface libre sous la ligne de référence est donnée pour un rayon quelconque par l'expression :

$$-Z = \frac{U^2}{2g} = \frac{C^2}{2gr^2} \quad (13)$$

Cette expression est celle de la surface libre.

Un tel tourbillon libre est produit en alimentant le cylindre en rotation avec une source constante, l'écoulement se produit en spirale vers le centre du cylindre en rotation.

En admettant que la vitesse est fonction du rayon suivant l'expression $(U=C/r^n)$, On aura :

$$Z = -\frac{C^2}{2nr^{2n}} \quad (14)$$

Et : $H = (1 - n)Z \quad (15)$

4-Description de l'appareil :

Un récipient cylindrique en plexiglas est entraîné en rotation autour de son axe verticale par un moteur électrique basse tension à vitesse variable. Un trou à la base du récipient permet à l'eau de s'écouler, un bouchon permet, par ailleurs, de fermer cet orifice si besoin est.

En entraînant le récipient en rotation, on obtient un tourbillon forcé. Le profil de la surface libre peut être étudié au moyen d'une jauge se déplaçant sur une règle graduée verticale, la répartition de la pression totale peut être aussi observer grâce à un tube de pitot.

Le tourbillon libre se produit à condition qu'une alimentation permanente en eau soit assurée, comme le montre la figure -4-. Un grand nombre de trous disposés sur la paroi interne du cylindre permettent de donner à l'eau introduite dans le corps principale, la vitesse initiale désirée, l'eau forme ensuite une spirale en augmentant sa vitesse, tout en se rapprochant de l'axe du mouvement, la surface libre prend une pente de plus en plus grande en allant vers l'axe en formant un espace suffisant à un noyau d'air. La surface libre peut aussi être mesurée par une jauge.

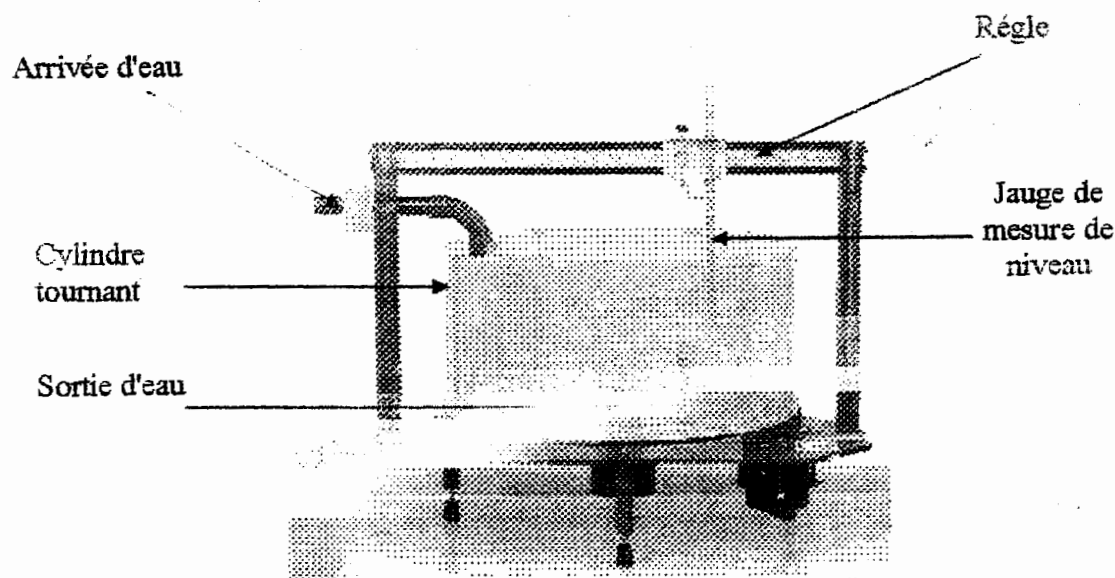


Figure-4-Appareil d'étude des tourbillons

5-Mode opératoire :

5-1-Tourbillon forcé :

Pour produire un tourbillon forcé, il est nécessaire de placer le bouchon fourni dans l'orifice du fond du récipient, le point tracé sur le bouchon correspond à l'axe du mouvement. L'eau est versée jusqu'à mi-hauteur du récipient, puis l'appareil est mis à niveau en amenant la surface de l'eau au même niveau en deux points diamétralement opposés, en manoeuvrant les pieds réglables. Le moteur étant mis en marche, il entraîne en rotation le récipient à la vitesse désirée, l'eau monte progressivement sur les parois et, au bout de quelques minutes, le mouvement devient stationnaire, on peut ensuite relever le profil de la surface libre en déplaçant la jauge suivant le diamètre sur la glissière horizontale et relevant la hauteur de la surface pour chaque position de la jauge. Il est recommandé de procéder à des mesures chaque (2 mm) en hauteur au voisinage de l'axe puis en augmentant progressivement jusqu'à (1 cm) au environs de la paroi du récipient, et cela pour obtenir une dizaine de points de mesure.

La valeur de la vitesse de rotation est déterminée en comptant le nombre de tours effectués par le récipient en une minute ou plus. La répartition de la hauteur manométrique totale s'observe en montant le tube de Pitot à la place de la jauge, la mesure s'effectue en immergeant juste l'extrémité du tube pour différents rayons.

5-2-Tourbillon libre :

Afin de produire un tourbillon libre, le bouchon doit être enlevé du récipient. Pour ménager un espace annulaire on introduit dans le récipient un cylindre interne troué, dans ce cas l'eau se déverse dans cette espace annulaire par une conduite branchée sur une alimentation extérieure. L'ensemble étant entraîné en rotation à vitesse réduite, on règle ensuite le débit de l'eau pour obtenir un écoulement permanent, le régime permanent atteint, on procède aux mesures comme dans le cas du tourbillon forcé, une quinzaine de points peuvent être obtenus.

6-Travail à effectuer :

6-1-Tourbillon forcé :

1-Déterminer la vitesse angulaire moyenne (Ω)

2-Remplir les tableaux suivants avec :

Y : hauteur de la surface libre

Z : hauteur de la surface libre par rapport au centre du paraboloïde formé.

r : Rayon de rotation, qui est la distance entre le point de mesure et l'axe du récipient.

H : hauteur manométrique.

Tableau-1-

N°	Y (cm)	Z (cm)	r (cm)	r ² (cm ²)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Tableau-2-

N°	r (cm)	r ² (cm ²)	H (cm)

3-Tracer les courbes ($Z=f(r)$) et ($H=f(r)$) ainsi que ($Z=f(r^2)$ et $H=f(r^2)$).

4-Determiner les expressions de (Z) et de (H) et comparer les avec les celles déduites analytiquement.

5-Quelle valeur de (Ω) correspond au débordement du récipient ?

6-1-Tourbillon libre :

1-Determiner la vitesse tangentielle (U_c) du cylindre interne ainsi que l'énergie cinétique ($U_c^2/2g$).

2-Remplir les tableaux suivants :

Tableau -3-

N°	y (cm)	Z (cm)	r (cm)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Avec :

y : Hauteur de la surface libre

Z : Hauteur de la surface libre par rapport à la ligne de charge totale ($H=Z_c+U_c^2/2g$), sachant que Z_c est la hauteur de la surface libre à l'extrémité du cylindre, et U_c la vitesse tangentielle.

Tableau-4-

N°	r (cm)	H (cm)	Z (cm)	Ln(-Z)	Ln(r)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

3-Tracer les courbes ($Z=f(r)$ et $H=f(r)$).

4-Tracer les courbes ($\ln(-Z)=f(\ln(r))$) et déterminer les constantes (n) et (C) décrites dans l'expression (14).

5-Déduire les expressions de (Z) et de (H).

T.P N°8: Etude des pertes de charges linéaires et singulières :

1-Introduction :

L'écoulement d'un fluide visqueux dans une conduite engendre une perte d'énergie généralement appelée perte de charge, cette dernière se subdivise en deux catégories :

a)-Pertes de charge régulières (linéaire) dues aux frottements du fluide sur une longueur droite d'une canalisation de diamètre constant, celle-ci est considérée comme la plus importante.

b)-Pertes de charges locales (singulières) provoquées par les singularités de la conduite (élargissement, rétrécissement, changement de direction, robinetterie....)

2-But du T.P :

Le but du T.P est de mettre en évidence les deux catégories de pertes de charge, ainsi que l'influence de la longueur, du diamètre, et de la rugosité de la conduite sur les pertes de charge linéaire, aussi l'influence des différents types de singularités sur les pertes de charges singulières .

3-Rappels théoriques :

3-1-Pertes de charge linéaire :

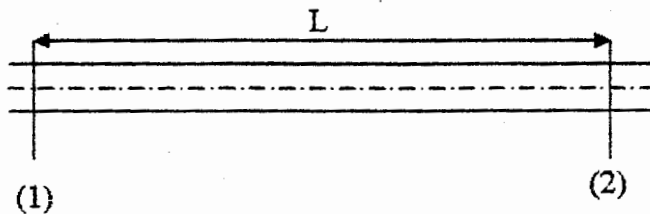


Figure-1-

Soit une canalisation de longueur (L), de diamètre (D) et de rugosité (ϵ). La perte de charge entre la section (1) et (2) s'écrit :

$$H_1 - H_2 = \alpha \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} + \frac{P_1 - P_2}{\rho g}$$

Où : H_1 et H_2 : les charges totales des sections (1) et (2)
 α : coefficient de correction de l'énergie cinétique ;
 V_1 et V_2 : vitesses d'écoulements ;
 P_1 et P_2 : pressions.

Or $V_1 = V_2$, donc $H_1 - H_2 = \Delta H = (P_1 - P_2) / (\rho g)$

La perte de charge peut s'écrire :

$$\Delta H = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

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

Où λ : coefficient de perte de charge linéaire, qui est fonction du nombre de Reynolds (R_e) et de la rugosité relative (ϵ/D).

$$\lambda = f(R_e, \frac{\epsilon}{D})$$

Puisque le domaine de variation de (R_e) est très étalé, les expressions du coefficient de perte de charge sont nombreuses :

a)- $R_e < 2000$: $\lambda = \frac{64}{R_e}$ c'est la loi de poiseuille qui décrit le régime laminaire.

b)- $2000 < R_e < 10^5$; dans cette zone la turbulence reste modérée , l'épaisseur de la sous-couche limite est suffisante pour englober toutes les aspérités de la conduite qui se comporte dès lors comme un tuyau lisse , λ ne dépend seulement que du nombre de Reynolds :

$\lambda = (100R_e)^{-\frac{1}{4}}$, formule de Blasius.

$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2\log\left(\frac{R_e \sqrt{\lambda}}{2.51}\right)$, formule implicite de Von Karman.

c)- $R_e > 10^5$, la turbulence dans cette zone devient très importante et (λ) ne dépend que de la rugosité relative (ε/D).

$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2\log\left(3.71 \frac{\varepsilon}{D}\right)$, formule de Nikuradsé.

Toutes ces formules peuvent être résumées dans la formule de Colebrook :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{R_e \sqrt{\lambda}}\right)$$

Cette formule a été traduite graphiquement pour faciliter son exploitation (voir diagramme de Moody)

3-2- Pertes de charges singulières :

Les pertes de charges singulières pourront toujours se mettre sous la forme :

$$\Delta h = k \frac{V^2}{2g}$$

Avec, V : vitesse d'écoulement, elle est toujours prise comme la vitesse la plus importante ;

k : coefficient de perte de charge singulière.

Nous reprenons dans ce qui suit les principales pertes de charge singulières :

a)- Coude à angle vif :

$$\Delta h = k \frac{V^2}{2g}$$

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

$$\theta = 90^\circ \Rightarrow k = 1.3$$

b)- Coude arrondi :

$$\Delta h = k \frac{V^2}{2g}$$

$$k = \left[0.131 + 1.847 \left(\frac{D}{2R_0} \right)^{\frac{7}{2}} \right] \frac{\theta}{90^\circ}; \theta \neq 0 ,$$

Formule de Weisbach

c)- Rétrécissement brusque :

$$\Delta h = k \frac{V_2^2}{2g}$$

D_2/D_1	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8
k	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2

d)- Elargissement brusque :

$$\Delta h = k \frac{V_1^2}{2g}$$

$$k = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 + \frac{1}{9} \left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2 \quad \text{Formule de Barrée de St Venant.}$$

4- Description du dispositif expérimental :

le T.P est conduit sur deux bancs d'essais :

4-1- Banc d'étude des pertes de charge linéaire :

le banc est constitué de trois conduites montées en parallèle dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant :

Conduite	D(mm)	e(mm)
1	26	4
2	26	1
3	20	1

Chaque conduite est munie de trois prises de pression distantes entre elles de (1m), ces dernières sont reliées à un multimanomètre par des tubes souples. l'extrémité de chaque conduite est munie d'une vanne qui sert à isoler deux conduites à la fois et travailler avec une seule, les extrémités des conduites sont reliées à un tube munie d'une vanne de réglage de débit, et relié à un réservoir pour la mesure du débit.

4-2- Banc d'étude des pertes de charges singulières :

Ce banc d'essais est formé d'un circuit comprenant une conduite de diamètre (22.5 mm), avec divers singularités :

1-un coude à angle vif de 90° ;

2-un coude arrondi de rayon de courbure ($R_0=12.5\text{mm}$) et un angle ($\theta=90^\circ$)

3-un élargissement brusque qui se rétrécit brusquement aussi pour retrouver le diamètre initial de la conduite, le diamètre de l'élargissement est de (29.6 mm).

4-Un coude arrondi de rayon de courbure ($R_0=53.4\text{mm}$).

Le dispositif est schématisé dans la figure suivante :

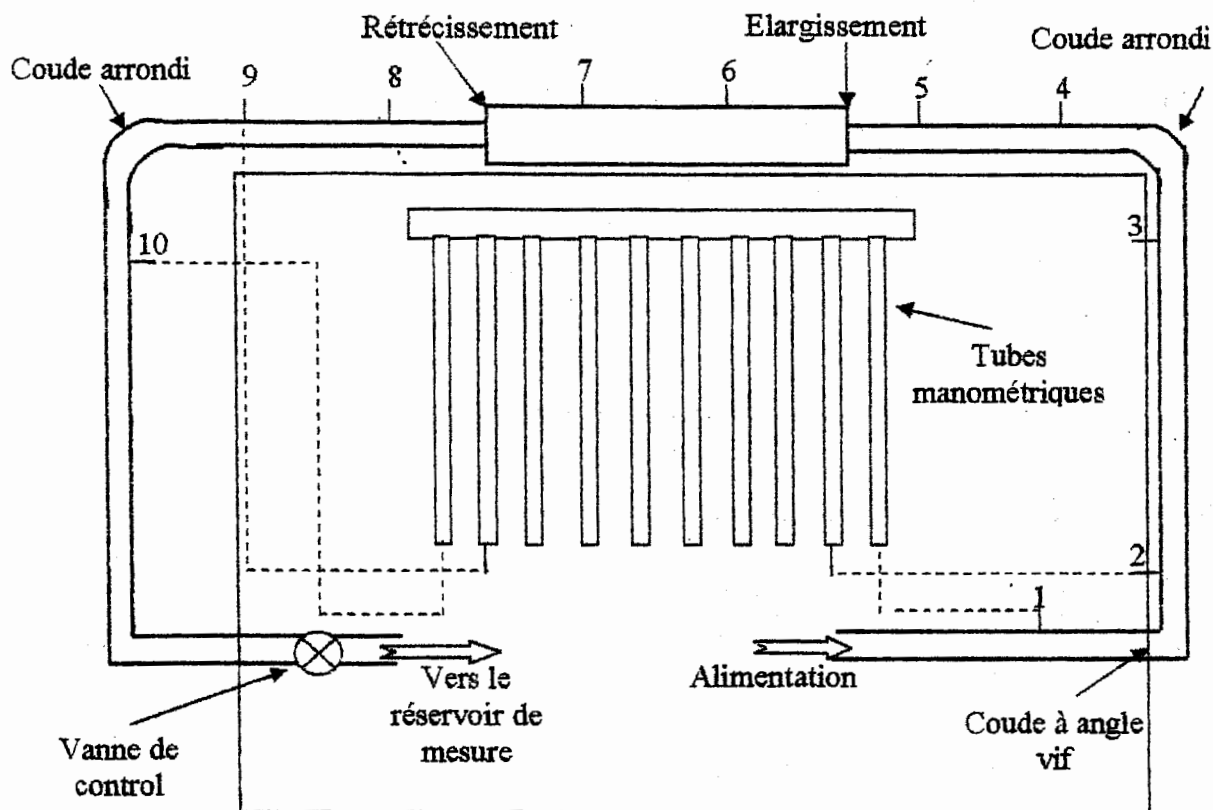


Figure-2-: Banc d'étude des pertes de charges singulières.

Les extrémités de chaque singularité sont munies de prises de pression reliées à un multimanomètre, l'eau est recueillie en fin de circuit dans un bassin pour mesurer le débit d'écoulement.

5- Conduite de l'expérimentation :

5-1-Perters de charges linéaires :

a)-Manipulation :

Vérifier que les prises de pression sont bien reliées au multimanomètre, purger celui-ci (chasser les bulles d'air) en fermant légèrement la vanne d'isolation de la première conduite et isoler les deux autres, lire les hauteurs piézométriques sur le multimanomètre et déduire la perte de charge entre chaque paire de prise de pression, ensuite mesurer le débit à l'aide du bassin d'accumulation.

b)-Travail à effectuer :

1-Remplir le tableau ci-dessous :

Conduite	Volume (l)	t(s)	Q (l/s)	V (m/s)	$\Delta H_{1-2}(m)$	$\Delta H_{2-3}(m)$	λ_{exp}
1							
2							
3							

2-Tirer la valeur de (λ) du diagramme de Moody pour chaque conduite, et résumer les résultats dans un seul tableau ;

3-Comparer les valeurs expérimentales de (λ) et celles tirées du diagramme de Moody, discuter ;

4-L'expérience démontre-t-elle l'existence de deux régimes d'écoulement distincts ?

5-Les expressions analytique de (λ) relatives à chaque régime sont-elle confirmées.

5-2-Pertes de charges singulières :

a)- Manipulation :

Vérifier que les prises de pression sont reliées au multimanomètre, amorcer ce dernier à l'aide d'une pompe à vélo après l'ouverture de la vanne du circuit, lire les hauteurs piézométriques sur le multimanomètre et mesurer le débit à la fin à l'aide du bassin de mesure .La perte de charge relative à chaque singularité est égale à la différence entre les hauteurs piézométriques à l'entrée et à la sortie de chaque singularité.

b)-Travail a effectué :

1-Remplir les tableaux suivants ;

Tableau-1-

N°	Vol (l)	t (s)	Q (l/s)	Hauteurs piézométriques : h(m)									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tableau -2-

N°	Coefficient de perte de charge : $k = \frac{2g\Delta h}{V^2}$				
	Coude 90°	Coude arrondi $R_0=12.5 \text{ mm}$	Elargissement brusque	Rétrécissement brusque	Coude arrondi $R_0=53.4 \text{ mm}$
1					
2					
3					

2-En utilisant l'expression correspondante à chaque singularité (citées dans les rappels théoriques), déterminer les coefficients de pertes de charge singulières (k) et comparer ces valeurs avec celle déterminé expérimentalement, discuter.

PARTIE

II

Écoulement à travers un orifice:

1-Introduction:

L'orifice est une ouverture, dans un réservoir, une conduite..., de forme quelconque par laquelle sort un écoulement libre (sous forme de jet) ou immergé si les deux cotés de l'orifice se trouvent sous le niveau du liquide.

A la sortie, l'écoulement subit une convergence des lignes de courants (contraction) au niveau de la section dite contractée, cette section est considérée comme la section réelle de l'écoulement en raison de la prédominance de la pression atmosphérique à partir de cette section.

En plus de la contraction, l'écoulement subit une perte de charge appréciable au niveau de l'orifice. Le mariage de ces deux effets (contraction, perte de charge) contribue à la réduction du débit sortant de l'orifice, celle-ci est représentée par le coefficient de débit.

2-But de l'expérimentation:

Le but du T.P est de mettre en évidence la réduction du débit qui s'écoule à travers un orifice à mince paroi, et de relier cette réduction à la contraction et la perte de charge à la sortie de l'orifice.

3-Rappels théoriques:

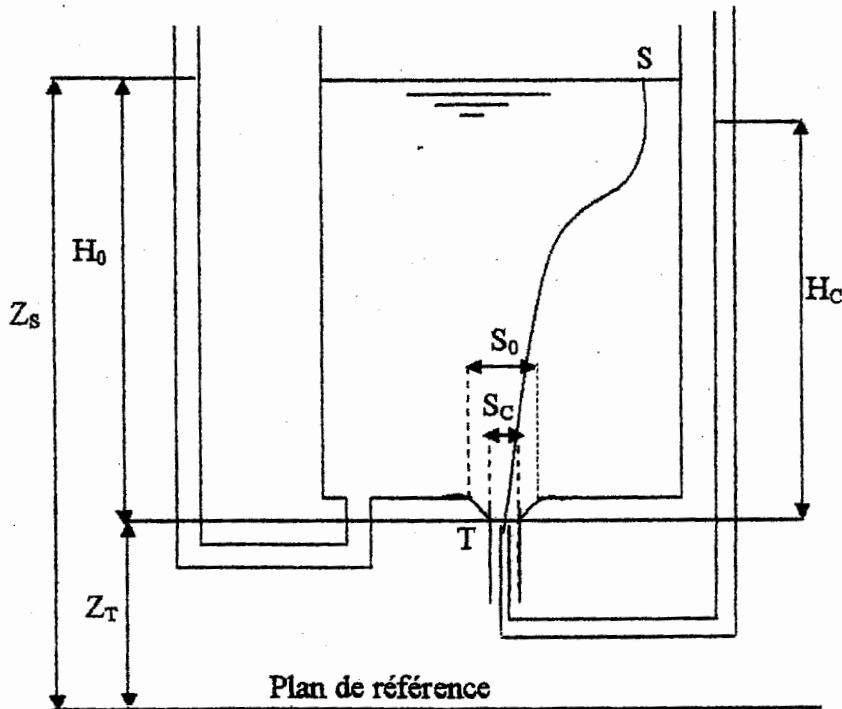


Figure-1-

Soit un écoulement à travers un orifice situé au fond du réservoir représenté sur la figure-1-. Soit une ligne de courant qui commence du point S de la surface libre jusqu'à la section contractée (T). En appliquant le théorème de Bernoulli entre (S) et (T):

$$\frac{V_s^2}{2g} + \frac{P_s}{\rho g} + Z_s = \frac{V_T^2}{2g} + \frac{P_T}{\rho g} + Z_T \quad \dots\dots\dots(1)$$

Si on considère que la section du réservoir est assez large par rapport à la section de l'orifice, la vitesse V_s serait négligeable, et puisque la pression atmosphérique règne aux sections (S) et (T).

$$P_s = P_T = P_{atm}$$

Et $Z_s - Z_T = H_0$, où H_0 est la hauteur d'eau au dessus de la section contractée.

En remplaçant ces deux dernières expressions en (1) on aura:

$$V_T = \sqrt{2gH} \dots\dots\dots(2)$$

V_T est la vitesse idéale à la section (T)

$$V_T = V_0 = \sqrt{2gH_0} \dots\dots\dots(3)$$

En prenant en considération la perte de charge à la sortie de l'orifice, la vitesse réelle de l'écoulement à la section contractée serait:

$$V_c = \sqrt{2gH_c} \dots\dots\dots(4)$$

Où H_c est la charge d'écoulement mesurée par un tube de Pitot au niveau de la section contractée, la perte de charge serait ainsi:

$$\Delta h = H_0 - H_c$$

Le rapport entre la vitesse réelle V_c et idéale (théorique) V_0 est appelé coefficient de vitesse.

$$C_v = \frac{V_c}{V_0} = \frac{\sqrt{2gH_c}}{\sqrt{2gH_0}}$$

$$C_v = \sqrt{\frac{H_c}{H_0}} \dots\dots\dots(5)$$

De même, le coefficient de contraction est définit comme le rapport entre la section contractée et la section réelle de l'orifice.

$$C_c = \frac{S_c}{S_0} \dots\dots\dots(6)$$

En dénier lieu, le coefficient de débit est définit comme le rapport entre le débit réel et le débit théorique ou idéale:

$$C_d = \frac{Q_c}{Q_0} \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{Où : } Q_c = V_c S_c = S_c \sqrt{2gH_c}$$

$$Q_0 = V_0 S_0 = S_0 \sqrt{2gH_0}$$

En combinant les expression (5),(6) et (7) on obtient:

$$C_d = C_v C_c \dots\dots\dots(8)$$

On remarque donc que la réduction du débit, décrite par C_d , est influencé par; premièrement la viscosité du liquide qui engendre une perte de charge à la sortie de l'orifice ce qui réduit sensiblement la vitesse d'écoulement du jet, deuxièmement la contraction qui réduit sensiblement la section d'écoulement, le produit de ces deux effets produit une réduction inévitable du débit.

Une autre méthode est utilisée pour déterminer la vitesse réelle de l'écoulement à la section contractée, et cela en utilisant le profil du jet qui sort de l'orifice, ce dernier se traite de la même façon que le mouvement d'un projectile.

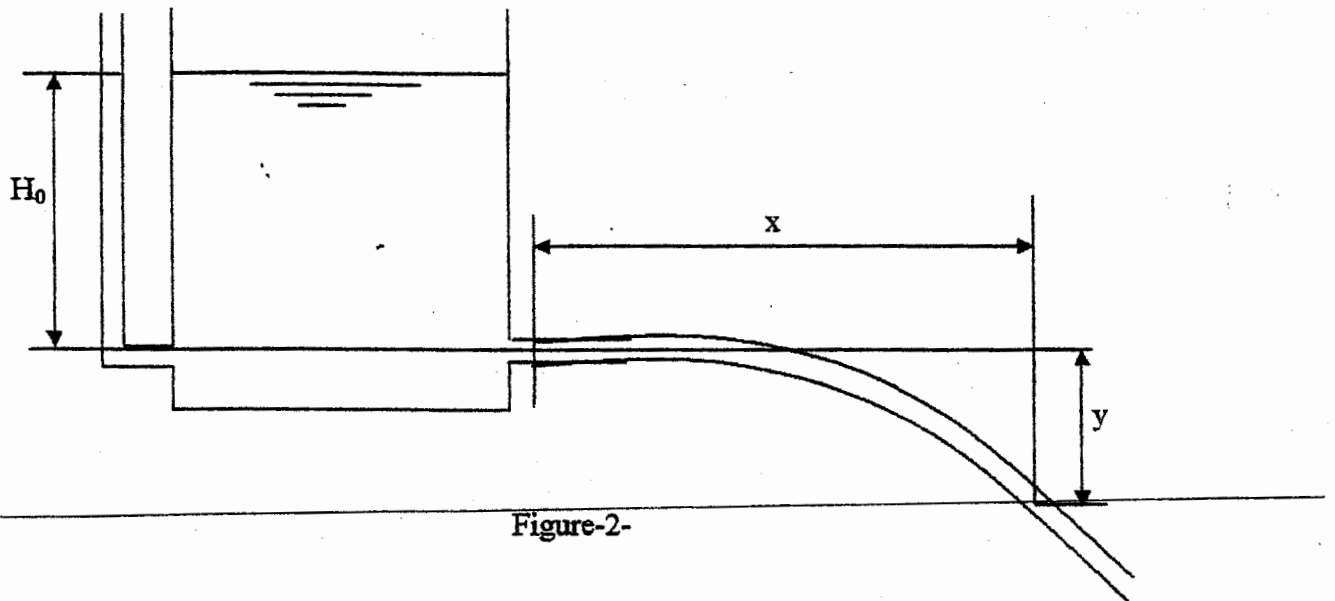


Figure-2-

Soit un orifice situé sur une paroi latérale du réservoir représenté sur la figure-2-. Le jet émerge de l'orifice suivant une direction horizontale, ensuite la trajectoire prend une forme parabolique, soit x et y les distances horizontale et verticale du profil du jet:

$$\begin{cases} x = V_c t \\ Y = \frac{1}{2} g t^2 \end{cases} \dots\dots\dots (9)$$

Le système (9) représente l'expression de la trajectoire en négligeant les frottements de l'air ambiant. En éliminant le temps (t) des deux équations du système (9) :

$$V_c = \sqrt{\frac{g x^2}{2y}} \dots\dots\dots (10)$$

Cette expression nous permet de déterminer la vitesse réelle V_c à partir de mesures de x et y , par la suite on peut déterminer le coefficient de vitesse:

$$V_c = C_v V_0 = C_v \sqrt{2gH_0}$$

$$\Rightarrow C_v = \frac{V_c}{\sqrt{2gH_0}} = \sqrt{\frac{x^2}{4H_0 y}} \dots\dots\dots (11)$$

4-Description du dispositif expérimentale:

Le dispositif expérimental est composé d'un réservoir cylindrique alimenté à partir d'un banc hydraulique. Un trop plein situé à l'intérieur du réservoir permet de maintenir un niveau constant dans ce dernier. L'eau sort du réservoir à travers un orifice à paroi de 13mm de diamètre, pour se déverser dans le bassin de mesure du banc hydraulique afin de déterminer le débit réel.

Une prise reliée au réservoir par un tube manométrique permet de mesurer le niveau d'eau dans le réservoir au dessus de l'orifice (H_0), un autre tube manométrique est relié à un tube de Pitot, ce dernier est introduit au milieu du jet sortant pour mesurer la charge d'écoulement (H_c).

L'axe portant le tube de Pitot comporte aussi une plaque plane de 3mm d'épaisseur et peut se déplacer avec un système vis écrou, chaque tour correspond à un déplacement de 1mm de la plaque dans un plan horizontal, ce qui permet de mesurer la section contractée.

Le deuxième dispositif se compose d'un réservoir rectangulaire alimenté par un banc hydraulique, le réservoir comporte un orifice sur une paroi latérale. Un trop plein est disposé à l'intérieur du réservoir pour maintenir un niveau constant. Le jet sortant de l'orifice s'écoule dans un bassin de mesure où des règles horizontale et verticale pour mesurer les valeurs de x et y , l'eau s'écoule ensuite dans le bassin de mesure du banc hydraulique pour une mesure du débit.

5-Travail à effectuer:

1^{er} cas:

- 1- Mesurer la hauteur d'eau (H_0), la charge (H_C) et le débit réel.
- 2- Mesurer le diamètre de contraction de jet.
- 3- Calculer les coefficients C_v , C_c et C_d par les expressions (5), (6) et (7) respectivement.
- 4- Vérifier que $C_d = C_v C_c$.
- 5- Compléter le tableau suivant:

N°	V (l)	t (s)	Q (m ³ /s)	H ₀ (m)	H ₀ ^{1/2}
1	5				
2	5				
3	5				
4	5				
5	5				

- 6- Tracer le graphe $Q=f(H^{1/2})$ et déterminer la valeur de C_d .

2^{em} cas:

- 1- Mesurer la hauteur du niveau d'eau (H_0) dans le réservoir ainsi que le diamètre de contraction du jet.
- 2- Déterminer les valeurs de C_d et C_c .
- 3- Tracer les graphes $y=f(x)$ et $y^{1/2}=f(x)$ et déterminer la valeur C_v .
Vérifier que $C_d = C_c C_v$.

Réaction d'un jet :

1- Introduction:

L'un des procédés de transformation de l'énergie hydraulique en énergie mécanique consiste à utiliser la pression pour amener le fluide à prendre des vitesses d'écoulement très importants, le jet ainsi produit est dirigé sur les pales d'une turbine qui sera mise en rotation par le moment de la quantité de mouvement de l'écoulement sur son axe. Ce type de turbines hydrauliques peut atteindre une puissance de 100MW et avoir un rendement supérieur à 90%.

Pour prédire l'énergie développée par une turbine et pour déterminer la vitesse de rotation il est nécessaire de comprendre comment l'impact du jet génère une force sur les pales, et comment la force est reliée à la quantité de mouvement du jet.

2- But de la manipulation:

L'expérimentation permet d'étudier la force appliquée par un jet sur un disque ou une hémisphère.

3- Rappels théoriques:

Considérant un auget symétrique par rapport à l'axe des X, figure-1-, Le jet percute l'auget avec une vitesse V_0 de direction parallèle à l'axe des X, et dévie d'un angle β par rapport à l'axe X.

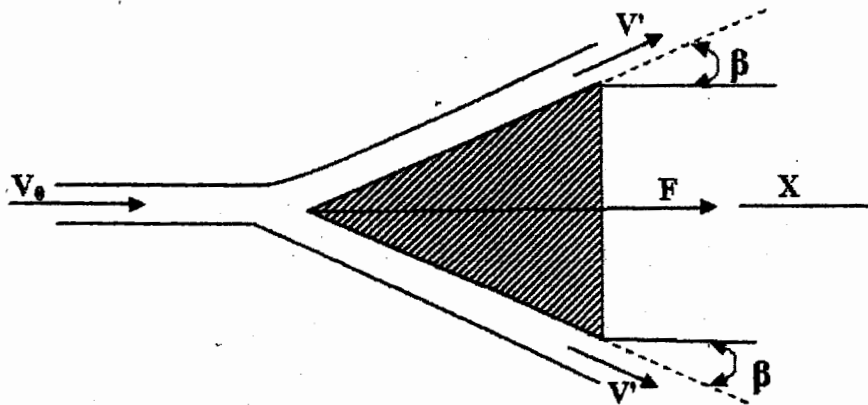


Figure-1-

La force exercée par le jet sur l'auget dans la direction des X est égale à la variation de la quantité de mouvement par unité de temps:

$$F = \frac{mV_0 - mV' \cos \beta}{t} = \frac{m}{t}(V_0 - V' \cos \beta) = W(V_0 - V' \cos \beta) \quad (1)$$

Où W : est le débit massique de l'écoulement.

$W = \rho Q$, ρ et Q la masse volumique du liquide est le débit de l'écoulement respectivement. On néglige les variations de pression piézométrique et du niveau du liquide entre l'entrée et la sortie de l'auget ainsi que la perte d'énergie cinétique due aux frottements:

$$V' = V_0$$

En remplaçant V' dans l'expression (1):

$$F = W(V_0 - V_0 \cos \beta)$$

$$F = WV_0(1 - \cos \beta) \quad (2)$$

On mettant $WV_0 = J$:

$$F = J(1 - \cos \beta)$$

Dans le cas d'un auget disque, β est égale à 90° , $\cos \beta$ est donc nul, d'où:

$$F = J \quad (3)$$

Dans le cas un auget hémisphérique, β est égale à 180° , $\cos \beta$ est donc égale à (-1) , d'où:

$$F = 2J \quad (4)$$

On remarque que cette dernière est le double de la force exercée sur l'auget plat.

4- Description de l'appareil:

L'appareil, figure-2-, est reliée au banc hydraulique par un tuyau équipé à une de ces extrémité d'un gicleur produisant un jet droit vertical. Ce jet est dirigé vers un auget plat ou hémisphérique. Le gicleur et l'auget sont mis dans un cylindre transparent pour pouvoir observer le jet, la base du cylindre est équipée d'une conduite de retour débitant dans un réservoir de mesure des débit du banc hydraulique.

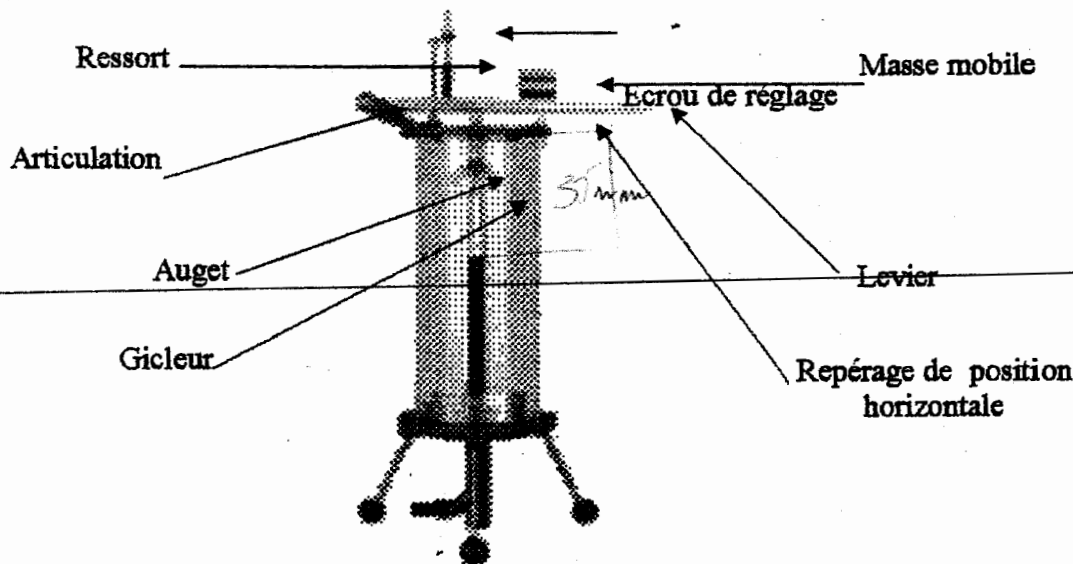


Figure-2-

L'auget est monté sur un levier articuler sur lequel peut se déplacer une masse mobile. Ce levier est mis en position horizontale en déplaçant la masse mobile jusqu'à la position zéro de la règle graduée et en manoeuvrant l'écrou mobile du ressort, cette position horizontale du levier est indiquée par un repérage placé sur le levier.

La force d'impact du jet se mesure, par le principe des moments par rapport à l'articulation, en déplaçant la masse mobile sur le levier jusqu'à ce que ce dernier reprenne sa position horizontale initiale indiquée par le repérage.

Les caractéristiques du dispositif sont:

- Diamètre du gicleur : $D=10\text{mm}$.
- Masse de la masse mobile: $m=610\text{g}$
- Distance du centre de l'auget à l'articulation: $L=152.5\text{mm}$ → 152.5
- Hauteur de l'auget par rapport au gicleur, $s=37\text{mm}$.

5- Conduite de l'expérimentation:

L'appareil est tout d'abord mis à niveau, la masse mobile à la position zéro, on ouvre la vanne d'alimentation du gicleur, le débit est augmenté au maximum pour avoir une force d'impact maximale, on glisse ensuite la masse mobile sur le levier pour remettre le levier à niveau, on mesure le débit et on note la valeur du déplacement de la masse mobile. On réduit ensuite le débit progressivement et on suit la même procédure pour avoir plusieurs mesures.

La meilleur façon d'établir de bonnes conditions de réduction de débit, est de déplacer la masse mobile à la position voulue et de régler et de régler ensuite le débit par la vanne pour remettre le levier à niveau, il est aussi préférable de déplacer la masse mobile par des pas constants.

L'expérimentation doit être conduite une première fois avec l'auget plat et une deuxième fois avec l'auget hémisphérique.

6- Résultats et calculs:

Le diamètre du gicleur est de 10mm la section du jet sera : $S=7.85 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$.

Le poids de la masse mobile : $P=mg=5.98 \text{ N}$.

Quand la masse mobile est déplacée d'une distance $y(\text{mm})$ de la position zéro, la force F du jet nécessaire pour restaurer le levier à la position horizontale est donnée par:

$$F \times 152.5 = P \times y$$

$$\text{D'où: } F = \frac{P \times y}{152.5}$$

En remplaçant P par ça valeur on obtient:

$$F = 0.03921 \times y, [\text{N}] \quad (5)$$

La vitesse de l'écoulement à la sortie u gicleur est : $V_1 = \frac{Q}{S}$

Mais la vitesse V_0 de l'impact du jet est moins importante que la vitesse de sortie du jet à cause de l'effet de la gravité.

$$V_0^2 = V_1^2 - 2gs \quad (6)$$

En remplaçant s et g par leurs valeurs, on obtient:

$$V_0 = \sqrt{V_1^2 - 0.72}$$

7- Travail a effectué:

1- Remplir le tableau suivant pour le cas du disque et de l'hémisphère:

Tableau-1-

N°	Q l/s	W Kg/s	y mm	V ₁ m/s	V ₀ m/s	J N	F N
1							
2							
3							
4							
5							
6							

2- Tracer la courbe $F=f(J)$ pour les deux cas étudiier, déduire les pentes des deux droites obtenues et interpréter.

3- Etablir la relation $F = K\rho \frac{Q}{S} = KJ$ et donner la valeur de K pour les deux augets étudiés.

4- Déterminer l'influence de la direction de la vitesse de sortie du jet sur la force d'impact dans le cas du disque, calculer la valeur théorique de cette force pour une vitesse faisant un angle de 91° avec la surface du disque.

8- Conclusion:

Si vous voulez concevoir une turbine hydroélectrique, quelle forme d'auget choisirait vous, plate ou hémisphérique et pourquoi?

Etalonnage des Débitmètres

1-Introduction :

La mesure de débit est un axe très important dans le cycle de la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable ou même d'irrigation il existe plusieurs instruments de mesure de débit ; débitmètres à turbines (se base sur la vitesse de rotation d'une turbine), ultrason (vitesse de propagation d'une onde sonore) , électromagnétique (variation du champs magnétique), venturi (variation de la pression entre deux points due à une perte de charge provoqué par un diaphragme) , Rotamètre (poussée de l'écoulement sur un cône placé dans un tube gradué).

Dans les canaux à ciel ouvert c'est surtout les déversoirs de jaugeage qui sont les plus utilisées ainsi que les canaux venturi. la précision de ces mesures a une importance capitale dans la gestion des installations du point de vue technique et aussi économique (facturation), dans ce présent T.P on étudiera différents types de débitmètres et on mettra en vue leurs exactitude de mesure.

2-But du T.P :

Le but du T.P est la mesure du débit par différents débitmètres et la détermination de la marge d'erreurs de chaque dispositif de mesure.

3-Rappels théoriques :

Considérons le système fluide représenté sur la figure N°1.

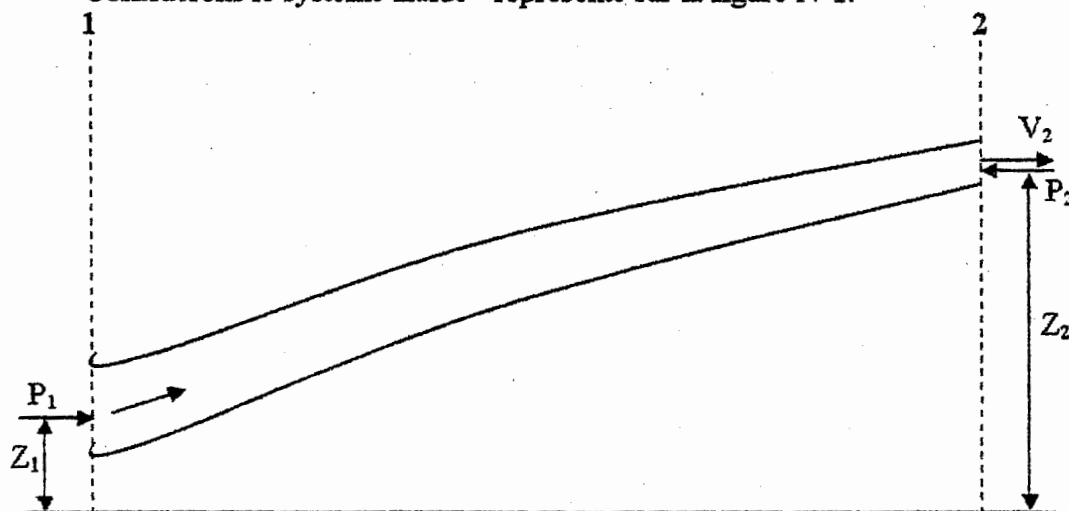


Figure -1-

L'équation générale de l'énergie entre la section (1) et (2) s'écrit sous la forme suivante :

$$\frac{P_1}{\rho g} + \alpha \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \alpha \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \Delta H_{1-2} \dots \dots \dots (1)$$

ΔH_{1-2} est la perte d'énergie entre la section (1) et (2)

A est le coefficient de correction de l'énergie cinématique , pour un écoulement turbulent α est voisin de l'unité .

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \Delta H_{1-2} \dots \dots \dots (2)$$

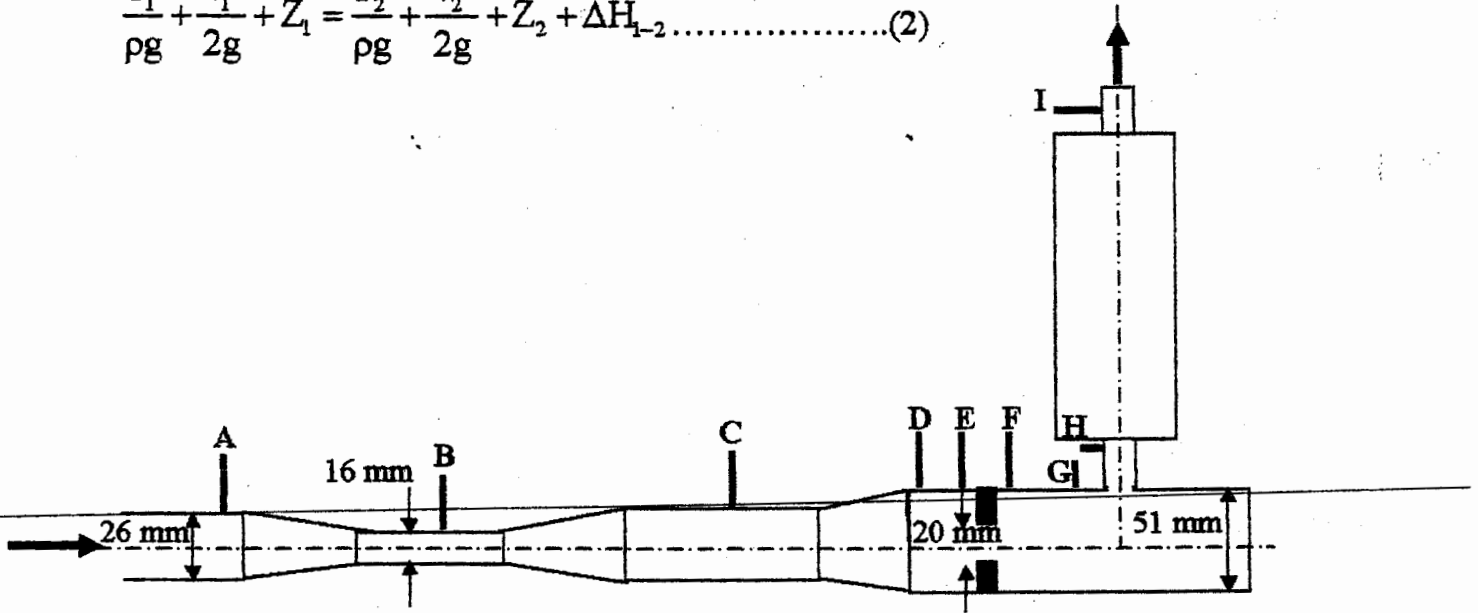


Figure-2-

a)- Débitmètre a venturi :

Le débitmètre à venturi est le siège d'une certaine augmentation de la vitesse au niveau de l'étranglement et une diminution de la pression, mais la perte de charge Δh est négligeable par le fait de la diminution progressive de la section, l'équation (2) s'écrit de la manière suivante :

$$\frac{P_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} \dots \dots \dots (3)$$

de l'équation de continuité :

$$V_A A_A = V_B A_B = Q \dots \dots \dots (4)$$

Q : le débit et (A) la section .

En remplaçant V_A dans l'expression (3) par l'expression correspondante tirée de (4) on obtient :

$$V_B = \left[\frac{2g}{1 - \left(\frac{A_B}{A_A} \right)^2} \left(\frac{P_A}{\rho g} - \frac{P_B}{\rho g} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (5)$$

$$Q_B = V_B A_B \dots \dots \dots (6)$$

par contre , en aval de l'étranglement , la décélération entraîne une perte de charge appréciable

$$\frac{P_A}{\rho g} = \frac{P_C}{\rho g} + \Delta H_{A-c} \dots \dots \dots (7)$$

b)- Débitmètre à Diaphragme :

La vitesse de l'écoulement à la sortie du diaphragme s'écrit :

$$V_F = k \left[\frac{2g}{1 - \left(\frac{A_E}{A_F} \right)^2} \left(\frac{P_E}{\rho g} - \frac{P_F}{\rho g} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(8)$$

$$Q_F = V_F A_F \dots\dots\dots(9)$$

Avec (k) coefficient de perte de charge, fonction de géométrie de l'appareil, il est déterminé par étalonnage. dans notre cas (k=0.601).

c)-Rotamètre :

La partie principale du Rotamètre est le flotteur qui est maintenu en équilibre dans le tube par le courant, la différence de pression est due à la perte de charge provoquée par le flotteur, cette perte de charge est égale au poids par unité de surface du flotteur, elle est constante et ne dépend pas de la dépression.

En négligeant les pertes de charges par frottement dans le tube (Diamètre important) on peut écrire :

$$\frac{P_H}{\rho g} + Z_H = \frac{P_I}{\rho g} + Z_I + \Delta H_R \dots\dots\dots(10)$$

Le débit est fonction de la hauteur d'équilibre du flotteur et peut être directement lu sur la courbe d'étalonnage.

d)-Déversoir à paroi mince :

Le débit du déversoir de forme (V) est donné par l'expression suivante :

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan \left(\frac{\theta}{2} \right) H^{\frac{5}{2}} \dots\dots\dots(11)$$

θ : angle d'ouverture du déversoir .

H : charge de l'écoulement

4-Description du dispositif expérimentale :

Le dispositif expérimental d'étude des méthodes de mesure des débits est représenté schématiquement dans la figure n°2.

L'eau pénètre dans l'appareil par un débitmètre à venturi en plexiglas équipé de prise de pression à son entrée, à l'étranglement et à la sortie, l'eau s'écoule ensuite dans un divergent puis dans une conduite droite avant de passer dans un diaphragme en laiton monté entre deux brides, équipées de prise de pression à l'entrée et à la sortie. Après le diaphragme l'eau pénètre dans un Rotamètre constitué d'un tube en verre et d'un flotteur conique, l'eau maintient le flotteur à une certaine hauteur qui correspond à un débit.

En quittant l'appareil l'eau se déverse soit dans le bassin de mesure du banc ou dans un bassin de tranquillisation, puis sur le déversoir avant de regagner le bassin de mesure.

5- Manipulation :

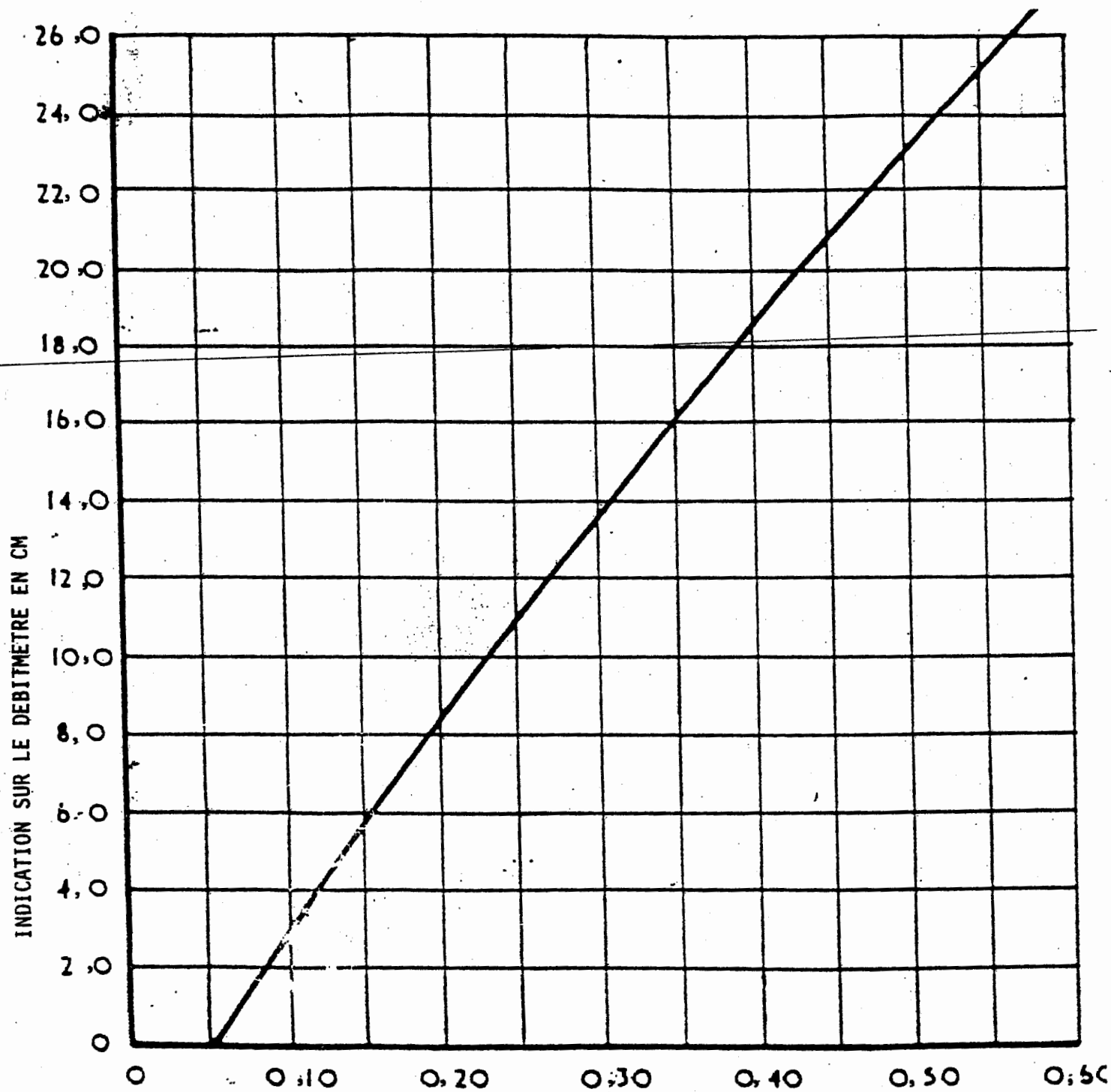
En premier lieu , mettre la pompe du banc en marche , vérifier que la vanne de vidange située en haut du Rotamètre est fermée , ouvrir la vanne du banc et laisser les tubes piézométrique du multimètre se remplir puis purger le multimètre en évacuant l'air par la valve située en haut du dispositif a l'aide d'une pompe a vélo et remettre les hauteurs piézométrique au même niveau , ensuite ouvrir la vanne de vidange de telle façon a avoir la plus grande différence de niveaux entre chaque deux hauteurs piézométrique reliées au même débitmètre. Relever les différentes hauteurs piézométrique et mesurer le débit à l'aide du bassin de mesure, faite varier le débit et relever les mesures piézométrique à chaque fois.

6- Travail à faire :

- 1- Remplir le tableau ci-dessous.
- 2- Tracer les graphiques des débits mesurés par différents débitmètres en fonction des débits réelles mesurés par le bassin de mesure.
- 3- Déterminer le coefficient de débit du déversoir (inverse de la pente de la droite du déversoir).
- 4- Quel est l'appareil de mesure le plus fiable ? pourquoi ?
- 5- Quel est le critère de base du choix d'un débitmètre ?

[illegible]

N°	Hauteurs piézométriques									Vol (l)	t (s)	Q (m ³ /s)	V _B (m/s)	Q _{Vent} (m ³ /s)	V _F (m/s)	Q _{Diaph} (m ³ /s)	H _{reta} (mm)	Q _{reta} (m ³ /s)	H _{Dev} (mm)	Q _{Dev} (m ³ /s)	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I												



DEBIT MASSIQUE D'EAU - kg/s.

FIG 6 - COURBE D'ETALONNAGE DU DEBITMETRE A FLOTTEUR

Etude des écoulements à surface libre

1-Introduction :

L'écoulement à surface libre est caractérisé par l'existence d'une surface libre en contact direct avec l'air ambiant, donc la surface de l'écoulement a une pression égale à la pression atmosphérique.

L'écoulement dans les conduites fermées à la pression atmosphérique, ou lorsque le niveau d'eau est au diamètre de la conduite est aussi un écoulement à surface libre.

Dans ce cas la force prédominante est celle de la gravité, le mouvement est due à la pente du canal .

2-But de la manipulation :

Le but du T.P est d'étudier un écoulement permanent le long d'un canal ouvert , déterminer la profondeur critique , tracer les lignes de charge et les lignes d'eau pour divers pentes et différents débits .

3-Rappel théorique :

Les écoulements à surface libre sont classés en différents types :

a)- Écoulement uniforme et non uniforme :

L'écoulement est uniforme si pour une longueur donnée du canal, la vitesse , la profondeur , la pente et la section du canal restent constantes :

$$\frac{\partial V}{\partial X} = 0 \quad , \quad \frac{\partial Y}{\partial X} = 0$$

dans ce cas la ligne de charge , la surface d'eau ainsi que le radier sont parallèles .

b)- Écoulement permanent et non permanent :

Si les caractéristiques de l'écoulement (Vitesse, profondeur, débit) restent constantes dans une section du canal , et ne change pas par rapport au temps , l'écoulement est dit permanent .

$$\frac{\partial V}{\partial t} = 0 \quad , \quad \frac{\partial Y}{\partial t} = 0$$

c)- Écoulement Laminaire et Turbulent :

L'écoulement est dit laminaire si le nombre de Reynolds est inférieur à 500 ou 600 .

$$R_e = \frac{\rho \times V \times R}{\mu}$$

R : le rayon hydraulique ($R = \frac{A}{P}$)

A : section de l'écoulement ;

P : périmètre mouillé .

d)- Écoulement Fluviale , Critique et Torrentielle :

L'écoulement est supposée fluviale si le nombre de Froude ($F = \frac{V}{\sqrt{g \times D}}$) est inférieure à 1.

D : Profondeur hydraulique ($D = \frac{A}{T}$)

A : section de l'écoulement ;

T : largeur de la surface d'eau au sommet du canal .

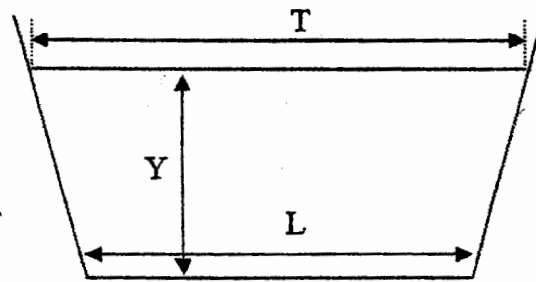


Fig -1- canal trapézoïdale

Si : ($F=1$), l'écoulement est Critique :

pour un canal rectangulaire : ($D = \frac{A}{T} = Y$) donc ($F = \frac{V}{\sqrt{g \times Y}} = 1$)

$$\text{D'où : } \frac{V^2}{g \times Y} = \frac{Q^2}{g \times L \times Y^3} = 1$$

$$\text{De cela : } Y_c = \left(\frac{Q^2}{L^2 \times g} \right)^{\frac{1}{3}}, \left(\frac{Q}{L} = q \right)$$

$$Y_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Si : ($F > 1$) l'écoulement est Torrentiel .

4-Détermination du débit dans les canaux à ciel ouvert :

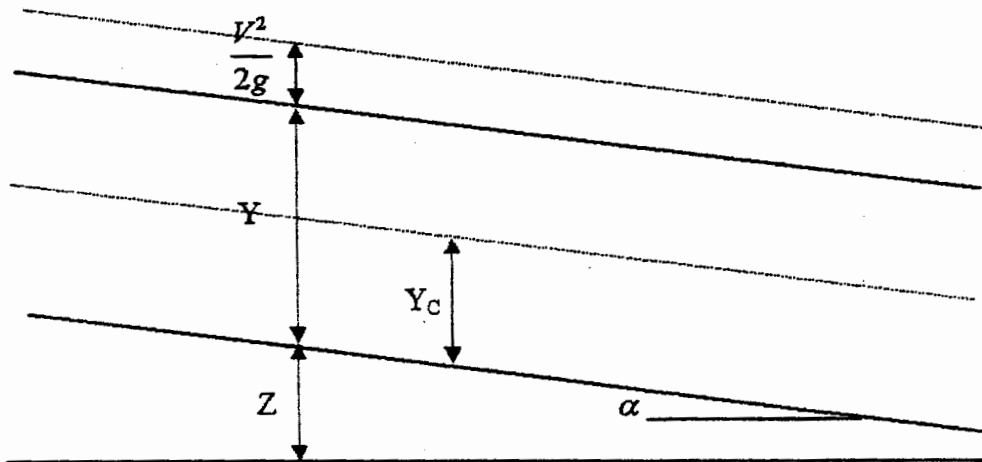


Fig-2- Ecoulement Uniforme

$Tg(\alpha) = i$: pente du radier

Il existe plusieurs formules de calcul de débits pour les régimes uniformes , les plus réponsus sont :

a)- Formule de Chezy :

La formule de Chezy est de la forme :

$$Q = A \times C \sqrt{R \times i}$$

A : section de l'écoulement ;

C : coefficient de Chezy ;

R : rayon hydraulique ;
i : pente du radier .

b)- Formule de Manning :

L'expression du coefficient de Chezy dans cette formule est :

$$C = \frac{1}{N} \times R^{\frac{1}{6}}$$

N : coefficient de Manning qui caractérise la nature du canal .

Donc : $Q = \frac{1}{N} \times A \times R^{\frac{2}{3}} \times i^{\frac{1}{2}}$.

5-Partie expérimentale :

a)- Dispositif expérimentale :

Le dispositif expérimentale est composé d'un canal vitré a pente réglable de largeur (81mm) et de longueur (), l'eau est refoulée par une pompe centrifuge , le débit max étant de (12 m³/s) , la mesure des profondeurs est effectué par des règles graduée de précision (0.1mm) .

b)- Manipulation :

Dans ce T.P on utilisera deux pentes distinctes du canal , pour chaque pente on fera varier le débit .

Pour chaque cas des valeurs de X(distance qui sépare la section de mesure au point de repère) sont relevées ainsi que les profondeurs Y à chaque section . La vitesse moyenne est déterminé en divisant le débit par la section de l'écoulement ($V = \frac{Q}{A}$) .

c)- Travail a faire :

- 1- Compléter le tableau ci-dessous pour chaque pente ;
- 2- Tracer les lignes d'eau, les lignes de charge et la ligne de profondeurs critiques pour chaque cas ;
- 3- Déterminer les pentes des lignes tracées, l'écoulement est- il Uniforme ?
- 4- En utilisant la formule de Manning, déterminer le coefficient (N) du canal.

i(%)															
Q(m ³ /s)															
X(m)															
Y(m)															
Y _c (m)															
V(m/s)															
V ² /2g															
Y + V ² /2g															

$\frac{V^2}{2g}$: L'énergie cinétique de l'écoulement ;

Y + $\frac{V^2}{2g}$: L'énergie spécifique.

Ecoulements par déversoirs à mince paroi

1-Introduction :

Le déversoir est un orifice ouvert à sa partie supérieure, il est utilisé pour mesurer les débits dans les canaux à ciel ouvert.

Il existe plusieurs formes de déversoirs :

- a) Déversoir rectangulaire
- b) Déversoir triangulaire
- c) Déversoir trapézoïdal
- d) Déversoir étagé

Il existe en outre deux types de déversoirs :

- a) Déversoir à mince paroi, là où l'épaisseur du seuil déversoir est inférieure à la moitié de la charge dynamique ($\delta < 0.5 H$).
- b) Déversoir à paroi épaisse, c'est les déversoirs dont l'épaisseur du seuil est supérieure à la moitié de la charge dynamique ($\delta > 0.5 H$).

2-But de la manipulation :

Le but de ce T.P est de mettre en évidence les écoulement à travers divers formes de déversoirs, et de déterminer expérimentalement les expressions du débit suivant chaque forme de déversoir.

3-Rappels théoriques :

Dans ce qui suit, on déterminera les expressions théoriques du débit pour les divers formes de déversoirs traités.

3-1-Déversoir rectangulaire :

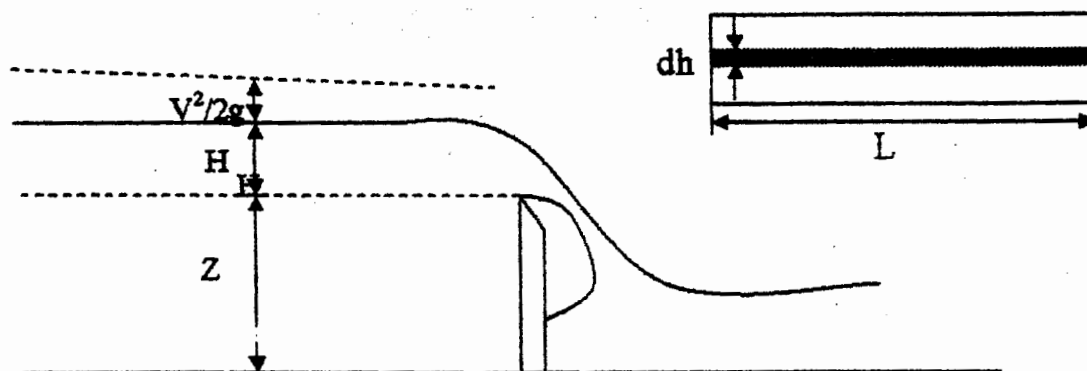


Figure-1-

Considérant le déversoir de la figure -1-

H : La charge dynamique

L : Longueur du déversoir

Z : La hauteur de pèle.

Considérant aussi une tranche élémentaire de l'écoulement d'épaisseur dh et de longueur L , la surface de la tranche est donc : $S = dh \times L$.

Comme dans le cas de l'orifice, la vitesse de l'écoulement est : $V = (2gh)^{1/2}$.

Le débit dQ qui s'écoule à travers cette tranche liquide sera : $dQ = (2gh)^{1/2} L C_d dh$

C_d : étant le coefficient de débit.

Par suite : $Q = \int_0^H C_d L \sqrt{2gh} dh$

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L H^{3/2} \dots\dots\dots(1)$$

3-2-Déversoir triangulaire :

Soit le déversoir de la figure -2-

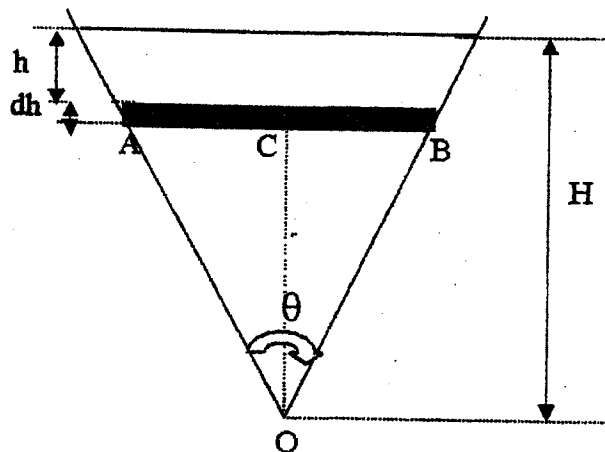


Figure-2- Déversoir triangulaire

Soit le déversoir de la figure -2-

θ : L'angle du déversoir

Considérons une tranche d'écoulement d'épaisseur dh , on peut déduire que :

$$\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{AC}{OC} = \frac{AC}{H-h}$$

$$AC = \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)(H-h)$$

$$AB = 2 \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)(H-h)$$

La surface de la tranche Liquide sera : $S = AB \times dh$

$$\text{Où : } S = 2 \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)(H-h)dh$$

La vitesse d'écoulement : $V = \sqrt{2gh}$

Le débit élémentaire serait :

$$dQ = 2 \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)(H-h) \sqrt{2g} dh C_d$$

$$Q = \int_0^H 2 C_d \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \sqrt{2g} (Hh^{1/2} - h^{3/2}) dh$$

$$Q = \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) H^{\frac{5}{2}} \dots\dots\dots(2)$$

3-3-Déversoir trapézoïdal :

Soit le déversoir de la figure-3-

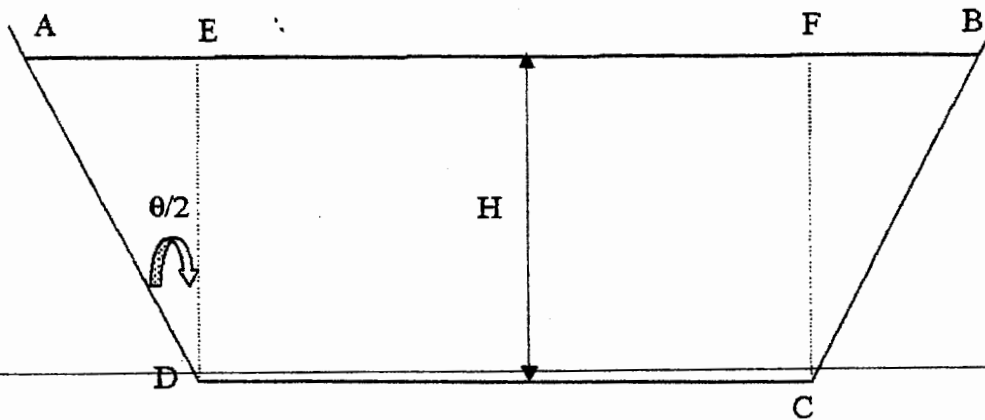


Figure-3-

Le débit totale (Q_{ABCD}) est égale a :

$$Q_{ABCD} = Q_{AED} + Q_{EFDC} + Q_{FBC}$$

$$Q_{AED} = Q_{FBC}$$

Donc : $Q_{ABCD} = 2Q_{AED} + Q_{EFDC}$

$$Q_{AED} = \frac{8}{15} C_{d1} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) H^{\frac{5}{2}}$$

$$Q_{EFDC} = \frac{2}{3} C_{d2} L \sqrt{2g} H^{\frac{3}{2}}$$

D'où : $Q_{ABCD} = \frac{8}{15} C_{d1} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) H^{\frac{5}{2}} + \frac{2}{3} C_{d2} L \sqrt{2g} H^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots(3)$

4-Partie expérimentale :

On utilise seulement deux formes de déversoir sur le banc d'essais, où on a un petit canal à travers lequel l'eau s'écoule, à son extrémité, le déversoir est monté sur deux rails. On mesure la hauteur de pèle (Z), ainsi que la charge (H) à une distance supérieure à trois fois (H), pour minimiser l'influence de la courbure des lignes de courants à l'approche du déversoir.

Le débit est mesuré à chaque fois sur le banc d'essais par la méthode volumétrique.

4-1-Déversoir rectangulaire :

Comme il a été rapporté ci-dessus l'expression du débit est de la forme :

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L H^{\frac{3}{2}}$$

Ou : $Q = A H^B$

Puisque ($B=3/2$) dans le cas du déversoir rectangulaire, donc :

$$A = \frac{Q}{H^{\frac{3}{2}}}$$

Et $A = \frac{2}{3} C_d L \sqrt{2g}$

$$\Rightarrow C_d = \frac{3}{2} \frac{A}{L \sqrt{2g}}$$

4-2-Déversoir triangulaire :

Le débit qui s'écoule à travers un déversoir triangulaire est donné par l'expression :

$$Q = \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) H^{\frac{5}{2}}$$

Ou : $Q = AH^B$

Puisque ($B=5/2$), le coefficient de débit peut se déduire comme suit :

$$A = \frac{Q}{H^{\frac{5}{2}}}$$

Où $A = \frac{8}{15} C_d \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \sqrt{2g}$

$$\Rightarrow C_d = \frac{15}{8} \frac{A}{\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \sqrt{2g}}$$

5-Travail à effectuer :

5-1-Déversoir rectangulaire :

1) Compléter le tableau ci-dessous.

2) Tracer les courbes : $Q=f(H)$ et $Q=f(H^{3/2})$. Interpréter les courbes

3) Déduire le coefficient de débit graphiquement et comparer le résultat avec la moyenne de

(C_d) déterminée analytiquement.

Tableau-1-

N°	V (l)	T (s)	H (m)	Q (m ³ /s)	H ^{3/2}	C _d
1						
2						
3						
4						
5						
6						

5-2-Déversoir triangulaire :

1) Compléter le tableau ci-dessous

2) Tracer les courbes : $Q=f(H)$ et $Q=f(H^{5/2})$. interpréter .

3) Déduire le coefficient de débit graphiquement et comparer le résultat avec la moyenne de

(C_d) déterminée analytiquement

Tableau-2-

N°	V (l)	T (s)	H (m)	Q (m ³ /s)	H ^{5/2}	C _d
1						
2						
3						
4						
5						
6						

6- Questions supplémentaires :

- 1) A quoi est due la différence entre les résultats expérimentaux et théoriques
 - 2) Si vous voulez mesurer le débit d'un canal, sur quel critère vous-vous baseriez pour choisir le déversoir qui convient .Expliquer .
 - 3) Si vous avez a étalonner un déversoir de forme quelconque (triangulaire, rectangulaire), quelle méthode utiliseriez vous pour déterminer le (Cd) et le (B) à partir d'un ensemble de points.
-

Ecoulement par vanne de fond dans un canal horizontal

1-Introduction :

Une vanne est un organe mobile permettant de modifier localement la section de l'écoulement : de la fermeture à l'ouverture totale, le mouvement de la vanne peut être soit glissant, roulant ou tournant. La vanne peut être appuyée latéralement sur des rails, des rouleaux ou des crémaillères. On distingue principalement deux types de vannes selon qu'elles sont prévues pour les aménagements hydrotechniques (vannes de déversoir, vanne de prise, vanne de fond...) ou pour des cours d'eau (écluses, vannes de canaux découverts...).

Dans le dimensionnement des vannes l'ingénieur doit s'intéresser à deux caractéristiques majeures :-La relation Debits-charges ;

-La distribution de pression sur la vanne pour différentes positions et différentes formes.

L'écoulement à proximité de la vanne peut être considéré comme un phénomène local, la vanne constitue donc une discontinuité, il y'a principalement deux zones d'écoulement : une zone d'écoulement principale à l'amont et une zone de séparation, à l'aval de la vanne l'écoulement se contracte jusqu'à atteindre une hauteur d'écoulement aval (h_2) tel que : ($h_2 = C_c a$), où C_c est le coefficient de contraction.

2-But de la manipulation :

Le T.P a pour but d'étudier l'écoulement à travers une vanne de fond plate et verticale disposée dans canal horizontale.

3-Rappels théoriques :

On distinguera deux types d'écoulement ; dénoyé et noyé.

3-1- Ecoulement dénoyé ou libre :

Soit l'écoulement à travers la vanne de fond de la figure suivante :

Figure-1-

En appliquant l'équation de Bernoulli entre la section (1) et (2) :

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} \dots \dots \dots (1)$$

On admet que la vitesse d'approche (V_1) est assez faible donc l'énergie cinétique est négligeable :

$$h_1 = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} \dots \dots \dots (2)$$

Puisque l'écoulement en aval se contracte on aura :

$$h_2 = C_c a$$

a : la hauteur d'élévation de la vanne , ou levée de la vanne.

C_c : coefficient de contraction.

$$h_1 = C_c a + \frac{Q^2}{2gb^2 a^2 C_c^2} \dots\dots\dots(3)$$

$$\Rightarrow \frac{Q^2}{2gb^2 a^2 C_c^2} = h_1 \left(1 - \frac{C_c a}{h_1}\right)$$

Et puisque ($C_c < 1$ et $a < h_1$), on aura :

$$\left(1 - \frac{C_c a}{h_1}\right) \left(1 + \frac{C_c a}{h_1}\right) \approx 1$$

$$\Rightarrow \left(1 - \frac{C_c a}{h_1}\right) \approx \frac{1}{\left(1 + \frac{C_c a}{h_1}\right)}$$

En remplaçant la dernière expression dans la relation (3) on aura :

$$Q = C_c b a \sqrt{\frac{2gh_1}{1 + \frac{C_c a}{h_1}}} \dots\dots\dots(4)$$

Une relation encore plus simple peut s'écrire de la manière suivante :

$$Q = C_d b a \sqrt{2gh_1} \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{Où : } C_d = \frac{C_c}{\sqrt{1 + \frac{C_c a}{h_1}}} \dots\dots\dots(6)$$

b : Largeur du canal.

C_d : est le coefficient de débit.

3-2-Ecoulement noyé :

Figure-2-

Suivant le même raisonnement que le précédent, l'expression régissant l'écoulement par vanne de fond dans le cas noyé est :

$$Q = C_c b a \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \dots\dots\dots(7)$$

(C_c) dans ce cas est sensiblement égale à sa valeur lors de l'écoulement dénoyé.

Plus généralement cette dernière expression s'écrit :

$$Q = C_d b a \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \dots\dots\dots(8)$$

4-Description du dispositif expérimentale :

Le dispositif expérimentale est constitué d'un canal vitré de largeur (75mm) et de (7m) de longueur, l'eau est refoulée par une pompe centrifuge avec un débit max de (12 m³/h). Une vanne de fond est fixée dans le canal et qui peut glisser vers le haut et le bas afin d'ajuster l'ouverture d'écoulement, les profondeurs à l'amont et à l'aval sont mesurées par une règle graduée de (0.1mm) de précision.

5-Manipulation :

L'étude de l'écoulement par vanne de fond doit se faire pour l'écoulement dénoyé et noyé. Dans le premier cas on règle la levée de la vanne, et on commence a relever, pour chaque débit les valeurs des profondeurs amont et aval, en maintenant cette dernière inférieure à la levée de la vanne (a) pour garantir un écoulement dénoyé.

La même chose dans le deuxième cas d'écoulement, sauf qu'ici la profondeur aval est supérieure à la levée de la vanne (a).

6- Travail a effectué :

6-1- Ecoulement dénoyé :

1-Remplir le tableau suivant :

N°	V ₀₁ (l)	t (s)	Q (m ³ /s)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	C _c
1						
2						
3						
4						
5						
6						

2-Le coefficient de contraction est-il constant ?discuter.

3-Tracer la courbe ($Q = f(\sqrt{h_1})$), et déterminer le coefficient de débit.

4- La relation (6) est -elle vérifiée ?

6-2- Ecoulement noyé :

1-Remplir le tableau suivant :

N°	V ₀₁ (l)	t (s)	Q (m ³ /s)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	(h ₁ -h ₂) ^{1/2}
1						
2						
3						
4						
5						
6						

2-Tracer la courbe ($Q = f(\sqrt{h_1 - h_2})$).

3-Determiner la valeur de (C_c).

4-Comparer cette dernière valeur avec celle de l'écoulement dénoyé.

T.P : Etude du ressaut hydraulique

1- Introduction :

Le ressaut hydraulique ou l'onde stationnaire est une brusque surélévation de la surface libre d'un écoulement permanent, ce phénomène se produit lors de la transformation d'un régime torrentiel à un régime fluvial sur une courte distance.

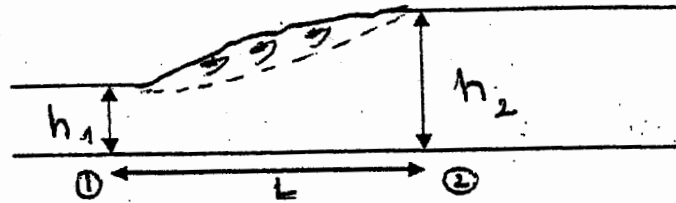


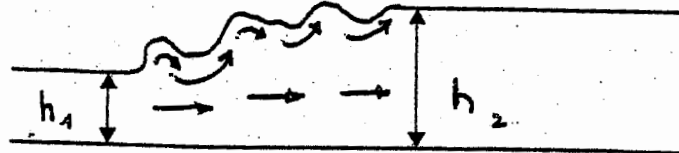
Figure-1-

Le ressaut hydraulique est caractérisé par :

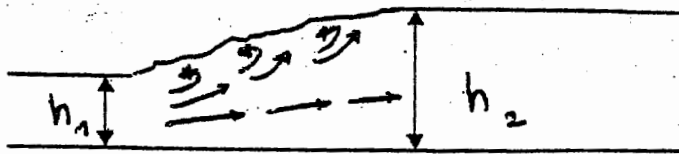
- *Les profondeurs conjuguées à l'amont et à l'aval du ressaut ;
- *La longueur du ressaut ;
- *La perte d'énergie occasionnée.

Suivant le nombre de Froude à l'amont, le ressaut se subdivise en cinq types :

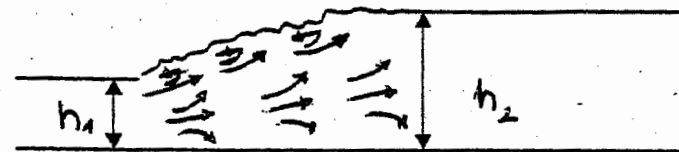
a)-Ressaut ondulé : $F_1=1\sim 1.7$



b)-Ressaut faible : $F_1=1.7\sim 2.5$



c)-Ressaut oscillatoire : $F_1=2.5\sim 4$



d)-Ressaut stable : $F_1=4.5\sim 9$



e)-Ressaut fort : $F_1>9$

2- But de la manipulation :

La manipulation a pour but de mettre en évidence le phénomène du ressaut hydraulique et de déterminer les principales caractéristiques.

3- Rappels théoriques :

3-1 Détermination des profondeurs conjuguées :

Ce problème consiste à déterminer une profondeur conjuguée par rapport à l'autre pour un débit et un canal donné.

En raison de la perte d'énergie occasionnée entre les deux sections du ressaut hydraulique, et qu'on ne connaît pas, le théorème de Bernoulli ne serait pas d'un grand secours, par contre le théorème d'Euler sera particulièrement précieux car il ne fait intervenir que les forces extérieures

réglant l'écoulement. Pour déterminer l'expression des profondeurs conjuguées il faut admettre les hypothèses suivantes :

*L'écoulement est uniforme est la distribution de pression est hydrostatique à l'amont et à l'aval du ressaut.

*La perte d'énergie due aux frottements sur les parois et le fond du canal est négligeable.

*La pente du canal est faible de telle façon que la composante du poids du liquide dans le sens de l'écoulement soit négligeable.

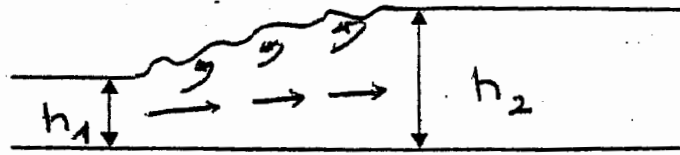


Figure-2-

Considérons le ressaut hydraulique de la figure -2- .

Soit :

Z_1 : la profondeur du centroïde de la section (1) ;

Z_2 : la profondeur du centroïde de la section (2).

Considérons aussi une section rectangulaire du canal et une largeur égale à l'unité.

q : débit par unité de largeur du canal.

De l'équation de continuité on a :

$$Q = V_1 h_1 = V_2 h_2$$

La force de pression qui agit sur la section (1)

$$P_1 = \rho g A_1 Z_1 = \rho g h_1 \frac{h_1}{2}$$

$$\Rightarrow P_1 = \rho g \frac{h_1^2}{2}$$

$$\therefore A_1 = h_1 \times 1, Z_1 = \frac{h_1}{2}$$

La force de pression agissant sur la section (2)

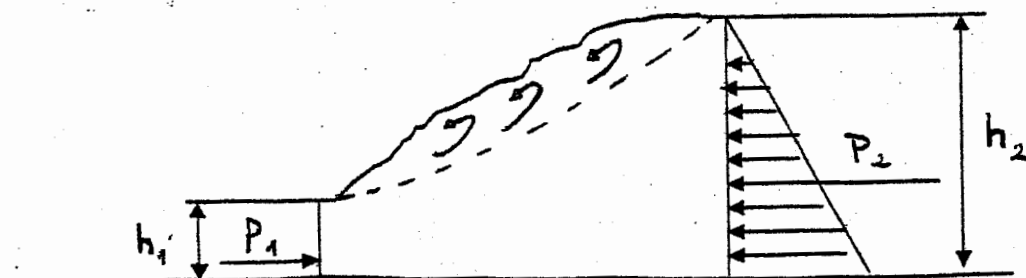
$$P_2 = \rho g A_2 Z_2$$

$$\Rightarrow P_2 = \rho g \frac{h_2^2}{2}$$

Donc la force résultante qui agit sur la masse liquide entre les sections (1) et (2) est :

$$P = P_1 - P_2 = \frac{\rho g}{2} (h_2^2 - h_1^2)$$

mais cette force résultante doit être égale au produit du débit massique et de la variation de vitesse entre les deux section (1) et (2) :



$$P = \rho q \times 1 \times (V_1 - V_2)$$

$$\Rightarrow \frac{\rho g}{2} (h_2^2 - h_1^2) = \rho q (V_1 - V_2)$$

$$\Rightarrow \frac{g}{2} (h_2^2 - h_1^2) = q \left(\frac{q}{h_1} - \frac{q}{h_2} \right), \therefore V_1 = \frac{q}{h_1}, V_2 = \frac{q}{h_2}$$

$$\Rightarrow h_1 + h_2 = \frac{2q^2}{gh_1 h_2} \dots \dots \dots (1)$$

$$\Rightarrow h_2^2 + h_1 h_2 - \frac{2q^2}{gh_1} = 0$$

La résolution de cette équation du deuxième ordre nous donnera l'expression des profondeurs conjuguées (h_1) et (h_2) :

$$h_2 = -\frac{h_1}{2} \pm \sqrt{\frac{h_1^2}{4} + \frac{2q^2}{gh_1}}$$

La solution négative est rejetée donc :

$$h_2 = -\frac{h_1}{2} + \sqrt{\frac{h_1^2}{4} + \frac{2q^2}{gh_1}}$$

La hauteur du ressaut hydraulique est :

$$a = (h_2 - h_1)$$

3-2-Determination de la longueur du ressaut hydraulique :

La longueur du ressaut est la distance qui sépare les deux hauteurs conjuguées, la détermination visuelle de cette longueur est facile, mais malheureusement elle n'est pas accessible au calcul, car on ne sait pas encore prédéterminer correctement la forme exacte de la surface libre du ressaut, il n'existe donc que des formules empiriques. Les formules les plus connus de calcul de la longueur du ressaut sont :

*Formule de Domingez : $\frac{L}{h_c} = 18 - 20 \frac{h_1}{h_2}, \rightarrow 0.2 < \frac{h_1}{h_2} < 0.8$

*Formule de Smetana : $L = 6(h_2 - h_1)$

*Formule Miami district : $L = 5(h_2 - h_1)$

*Formule de Safranez : $\frac{L}{h_2} = 4.5$

Les formules les plus satisfaisantes sont celles de Smetana et de Safranez.

3-3-Determination de la perte d'énergie :

La perte d'énergie est égale à la différence entre les énergies spécifiques à l'amont et à l'aval du ressaut : $\Delta H = E_1 - E_2$

$$\Delta H = \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right) - \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2g} \right)$$

$$\Rightarrow \Delta H = \left(\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} \right) - (h_2 - h_1)$$

$$\Rightarrow \Delta H = \left(\frac{q^2}{2gh_1^2} - \frac{q^2}{2gh_2^2} \right) - (h_2 - h_1)$$

$$\Rightarrow \Delta H = \frac{q^2}{2g} \left(\frac{1}{h_1^2} - \frac{1}{h_2^2} \right) - (h_2 - h_1) \dots \dots \dots (2)$$

En remplaçant (q^2) de l'équation (1) dans la relation précédente on obtient :

$$\Delta H = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1 h_2} \dots \dots \dots (3)$$

4- Description du dispositif expérimentale :

Le dispositif expérimentale est constitué d'un canal vitré de largeur (75mm) et de longueur (7 m), l'eau est refoulée par une pompe centrifuge avec un débit maximum de (12 m³/h). Le ressaut hydraulique peut être créé par un seuil fixé dans le canal, les différentes Profondeurs sont mesurées à l'aide d'une règle graduée de précision (0.1mm).

5- Manipulation :

Il est préférable avant tout de fixer le canal au niveau zéro (canal horizontale). Après la mise en marche de la pompe et la formation du ressaut hydraulique à l'aval du seuil, les valeurs des profondeurs conjuguées et de la longueur seront relevées et cela pour différents débits.

6- Travail a effectué :

1- Remplir les tableaux suivants ;

Tableau-1-

N°	Vol (l)	T (s)	Q (m ³ /s)	q (m ³ /s/m)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	L (m)	F ₁	Type de ressaut
1									
2									
3									
4									

Tableau-2-

N°	h ₁ (m)	h ₂ (m)	h ₂ (théorique) (m)	L (m)	L _(théorique) (m)	ΔH (m)	% d'énergie dissipée
1							
2							
3							
4							

2- Comparer les valeurs mesurées de (h₂) et de (L) avec celles déterminées analytiquement, discuter.

3- Es-ce que les valeurs du nombre de Froude correspond réellement aux types de ressauts observés ?

4- En Observant le pourcentage d'énergie dissipée es-ce que le ressaut hydraulique est un moyen efficace de dissipation d'énergie ?