

## TP N°2 : La force de poussée hydrostatique sur une paroi plane

## 1-Introduction:

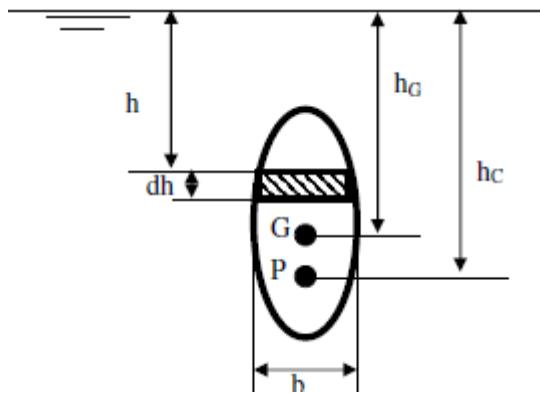
Depuis la nuit des temps l'homme a remarqué qu'un liquide bloqué par un obstacle exerce une poussée sur ce dernier quelle que soit ça forme. Cette poussée résulte de la pression du liquide exercé sur l'obstacle, cette force est appelée force de poussée hydrostatique. Celle-ci s'exerce sur un point appelé 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.**Surface plane immergée.

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:

La section de l'élément de surface:

$dS = dhb$ ,  $b$  étant la largeur de la surface.

La force de pression totale exercée sur la surface plane:

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

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.

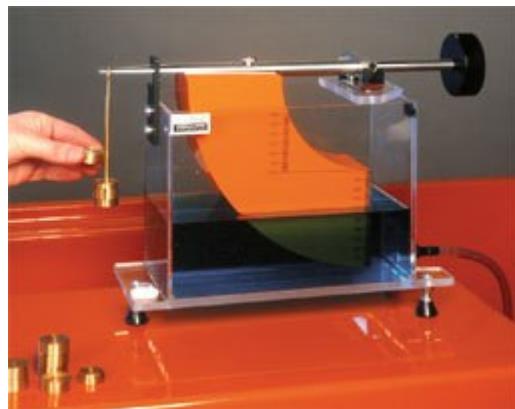
$$Fh_c = \int dFh$$

Où I est le moment d'inertie de la surface S par rapport à la surface libre, il est égal pour une section rectangulaire  $I = \frac{bh^3}{12}$  .....(6)

$h_C$  est la profondeur du centre de poussée. Par conséquent :

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:**

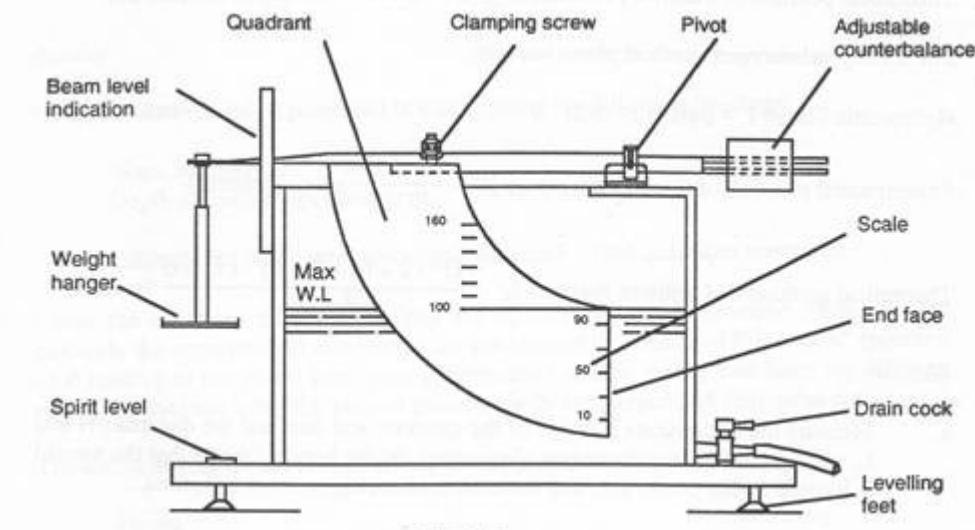


**Figure.2.** appareil de mesure de la poussée hydrostatique

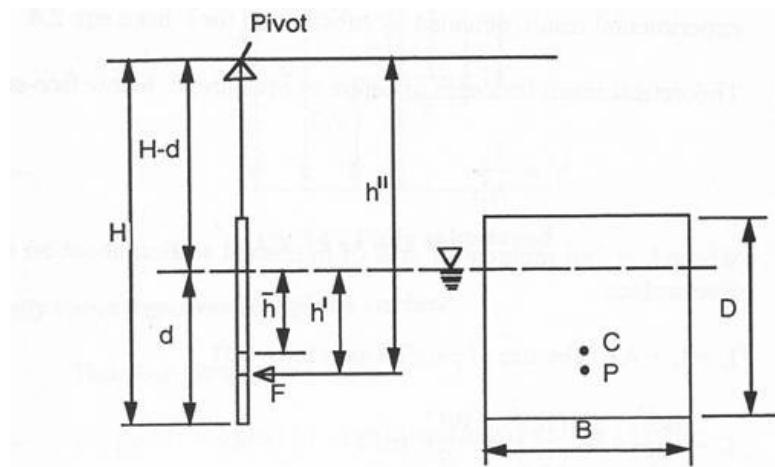
Le dispositif expérimental est constitué d'un quadrant fabriqué monté sur un bras d'équilibrage, qui pivote sur les bords du couteau. La ligne de contact des tranchants de couteaux coïncide avec l'axe du quadrant. Ainsi, les forces hydrostatiques agissant sur le quadrant lorsqu'il est immergé, seule la force sur l'extrémité de la face rectangulaire donne lieu à un moment autour de l'axe de la lame de couteau.

En plus de la vis de serrage du quadrant le bras de la balance comporte un plateau de la balance, un contrepoids réglable et un indicateur qui indique le moment où le bras est horizontal.

Le réservoir en plexiglas doit être mis à niveau en ajustant les pieds vissés. Un alignement correct est indiqué par un niveau à bulle circulaire monté sur la base de la cuve. L'eau est admise à la partie supérieure de la cuve par un tuyau flexible et peut être évacuée par le robinet de vidange dans le fond. L'alimentation en eau est obtenue à partir de la table de travail hydrostatique. Le niveau d'eau dans le réservoir Perspex est indiqué sur une échelle.



**Figure.3.** caractéristiques du dispositif expérimental



**Figure.4.** point d'application de la force poussée.

Les dimensions suivantes provenant de l'appareil sont utilisés dans les calculs appropriés. Ces valeurs doivent être vérifiées dans le cadre de votre procédure expérimentale et remplacés par vos propres mesures.

- Longueur de la balance L 275 mm Distance horizontale entre le pivot et le point de suspension des poids.
- H 200 mm est la distance entre le pivot et la base du rectangle.
- D 100 mm Hauteur du rectangle.
- B 75 mm largeur du rectangle.

Il faut distinguer deux cas; celui où la profondeur du liquide est inférieur à la hauteur de la plaque plane ( $h < D$ ), et celui où elle est supérieure ( $h > D$ ).

## 6. Travail demandé :

1- Remplissez le tableau suivant :

| N° | M(g) | d(mm) | h <sub>G</sub> (mm) | F(N) | h' anal (mm) | h' exp(mm) |
|----|------|-------|---------------------|------|--------------|------------|
| 1  |      |       |                     |      |              |            |
| 2  |      |       |                     |      |              |            |
| 3  |      |       |                     |      |              |            |
| 4  |      |       |                     |      |              |            |
| 5  |      |       |                     |      |              |            |
| 6  |      |       |                     |      |              |            |
| 7  |      |       |                     |      |              |            |
| 8  |      |       |                     |      |              |            |
| 9  |      |       |                     |      |              |            |
| 10 |      |       |                     |      |              |            |
| 11 |      |       |                     |      |              |            |
| 12 |      |       |                     |      |              |            |

Où : m : masses du contrepoids.

- d : Profondeur du liquide.
- h<sub>G</sub>: Profondeur du centre de gravité de la section.
- F: Force de poussée.
- h'anal (hc anal): Profondeur du centre de poussée déterminée à l'aide de l'expression (9).
- h'exp (hc exp) : Profondeur du centre de poussée déterminée par le principe des moments

$$\sum M/o = 0 \Leftrightarrow mgL = F \cdot h''$$

$$h'' = \frac{mgL}{F}$$

$$h'' = H - d + h' \text{exp}$$

$$\text{donc : } h' \text{exp} = h'' + d - H$$

2- tracez la courbe de la variation du point d'application de la force hydrostatique en fonction de la masse.

3- Comparer les valeurs de h'exp et h'anal, discuter.

## L2- MDF 1

### Théorème de Bernoulli

#### 1. Objectif

Etude de la validité de l'équation de Bernoulli dans un écoulement stationnaire de l'eau dans un canal convergent-divergent.

#### 2. Méthode

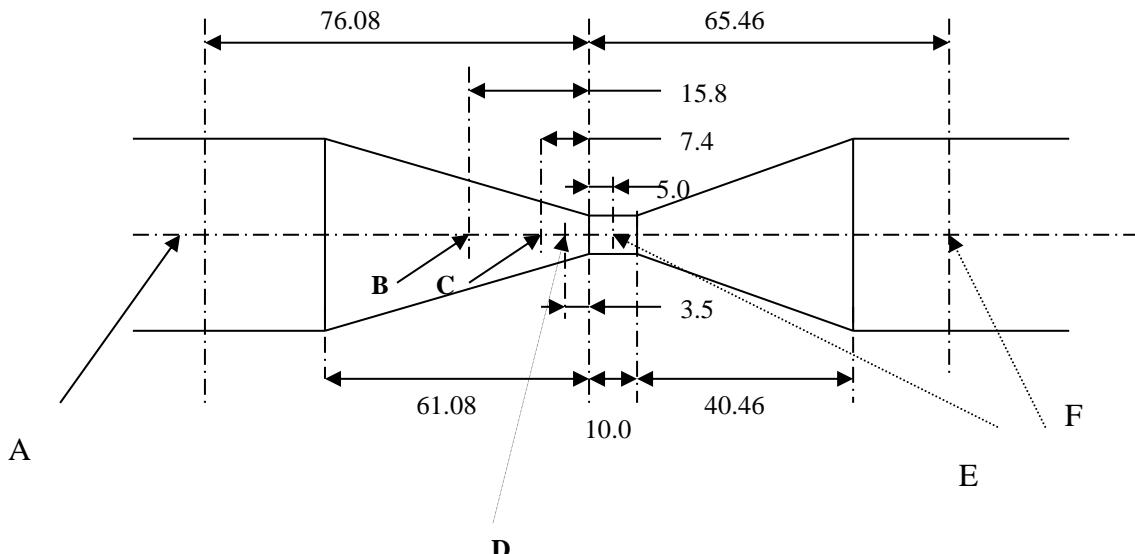
Elle consiste à mesurer les débits et, en même temps, les cimes (point le plus hauts) des pressions statique et totale dans un canal rigide convergent-divergent de géométrie conique.

#### 3. Données techniques

Les dimensions suivant de l'équipement seront utilisées dans vos calculs. Ces valeurs peuvent être vérifiées en tant que partie de la procédure expérimentale et seront remplacées s'il y a lieu par vos propres mesures.

Les dimensions du tube sont détaillées comme suit :

| Position | Manomètre légende | Diamètre (mm) |
|----------|-------------------|---------------|
| A        | $h_1$             | 25,0          |
| B        | $h_2$             | 13,9          |
| C        | $h_3$             | 11,8          |
| D        | $h_4$             | 10,7          |
| E        | $h_5$             | 10,0          |
| F        | $h_6$             | 25,0          |



### Théorie- l'équation de Bernoulli

L'équation de Bernoulli représente la conservation de l'énergie mécanique pour un écoulement stationnaire, incompressible sans frottement :

$$\frac{P}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

où :

P : pression statique détectée au côté du trou,

V : vitesse du fluide

Z : élévation verticale de fluide, ainsi

$Z_1=Z_2$  pour un tube horizontal.

L'équation peut être dérivée de l'équation d'Euler par intégration et elle peut être aussi dérivée du principe de conservation d'énergie.

### Théorie- Autres formes de l'équation de Bernoulli

Si le tube est horizontal on a :  $Z_1=Z_2$

Ainsi :  $\frac{P}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g}$

Avec l'appareil ARMFIELD F1-15, la cime de la pression statique P, est mesurée en utilisant un manomètre, directement à côté du trou. Mais actuellement le manomètre mesure la cime de la pression statique, h, en mètres et qui est relié à P par la relation.

$$h = \frac{P}{\rho g}$$

Ce qui permet l'écriture de l'équation de Bernoulli sous une autre forme :

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

La cime de la pression dynamique

Théorie- Cime de la pression totale.

### Théorie- Mesure de la vitesse

La vitesse de l'écoulement est mesurée par le volume de l'écoulement, V, sur une période, t. on aura alors le flux volumique :

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

Ainsi la vitesse d'écoulement à travers une section, A est donnée par :

$$v = \frac{Q_v}{A}$$

## Théorie- équation de continuité

Pour un fluide incompressible, l'équation de continuité impose que le débit est conservé.

$$A_1V_1=A_2V_2 \quad [m^3/s]$$

## Procédure- installation de l'équipement

### Niveau de l'appareillage

Installer l'appareillage de l'équation de Bernoulli sur le banc hydraulique dont la base est horizontale ; Ceci est nécessaire pour une bonne lecture des hauteurs sur le manomètre.

### Installer la direction de la section d'essai

Assurez-vous que la section d'essai a  $14^\circ$  de conicité et qu'elle converge dans le sens de l'écoulement.

### Connecter l'alimentation et le refoulement de l'eau

Assurez-vous que le tube de sortie d'installation est positionné au-dessus du réservoir volumétrique dans le but de faciliter les prises chronométrées du volume. Reliez l'alimentation de l'installation à l'approvisionnement du banc; fermez la valve de banc et la soupape de commande d'écoulement dans l'appareillage et mettez en marche la pompe. Ouvrir graduellement la valve du banc pour remplir l'installation d'eau.

### Purger les manomètres

Dans le but de purger les points de prise de pressions et les manomètres, fermez en même temps la valve du banc et la valve de contrôle d'écoulement de l'installation et ouvrez la vis de purge d'air et enlevez le chapeau de la soupape à air adjacente. Reliez avec une longueur de tuyauterie la soupape à air au réservoir volumétrique. Maintenant, ouvrez la valve du banc et laissez l'écoulement traverser les manomètres pour purger tout l'air à l'intérieur ; puis, serrez la vis d'air et ouvrez en partie la soupape du banc et la soupape de commande d'écoulement du banc d'essai. Après, ouvrez la vis de purge d'air légèrement pour permettre à l'air de rentrer par les extrémités hautes des manomètres (vous devez ajuster les deux valves afin de réaliser ceci); resserrez la vis quand le niveau dans le manomètre atteint une taille commode. Le flux maximum sera déterminé par la nécessité d'avoir la lecture du maximum ( $h_1$ ) et du minimum ( $h_5$ ) sur le manomètre et à l'échelle.

## Procédure - Prise des mesures

La lecture devrait être prise pour 3 débits, vous pouvez inverser la section d'essai afin de voir l'effet de la section convergente.

### Réglage du débit

Prenez le premier ensemble de lecture au débit maximum, puis réduisez le débit pour donner à  $(h_1-h_5)$  une différence d'environ 50 mm. Finalement, répétez le processus entier pour un autre débit. Essayez d'avoir  $(h_1-h_5)$  approximativement la moitié de celle obtenue dans les deux essais précédents.

#### Lecture de la cime statique

Prenez les lectures des manomètres  $(h_1-h_5)$  quand le niveau est stable. Assurez-vous que toute la sonde de pression est rétractée de la section d'essai.

#### Collection du volume chronométré

Vous devriez effectuer une collection chronométrée du volume, en utilisant le réservoir volumique, afin de déterminer le volume du débit. Ceci est réalisé en fermant la valve à bille et en mesurant (avec un chronomètre) le temps pris pour accumuler un volume connu de fluide dans le réservoir, qui est lu sur l'indicateur en verre. Vous devriez collecter le fluide pendant au moins une minute pour minimiser les erreurs de synchronisation. En plus, toute la sonde de pression devrait être rétractée de la section d'essai pendant ces mesures. Ecrivez les mesures du test et reprenez cette même mesure une autre fois pour la vérification.

#### **Lecture de la distribution de la cime de pression totale**

Mesurer la distribution de la pression totale au niveau de la cime qui traverse la sonde.

#### **Inverser la section d'essai**

Assurer que toutes les sondes de pression sont entièrement retirées de la section d'essai (ne pas retirer de leurs guides). Desserrer les deux raccords, retirer la section d'essai et l'inverser.

| Volume collecté V [m <sup>3</sup> ] | Temps t [s] | Débit Q <sub>v</sub> [m <sup>3</sup> /s] |    | Distance dans le canal [m] | La section du canal [m <sup>2</sup> ] | Cime statique h [m] | Cime dynamique [m] | Cime totale h [m] |
|-------------------------------------|-------------|--|----|----------------------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
|                                     |             |  | h1 |                            |                                       |                     |                    |                   |

|  |  |  |    |  |  |  |  |  |
|--|--|--|----|--|--|--|--|--|
|  |  |  | h2 |  |  |  |  |  |
|  |  |  | h3 |  |  |  |  |  |
|  |  |  | h4 |  |  |  |  |  |
|  |  |  | h5 |  |  |  |  |  |
|  |  |  | h6 |  |  |  |  |  |

### Travail demandé

Commenter la validité de l'équation de Bernoulli pour :

- écoulement dans le convergent
- écoulement dans le divergent

Etablir clairement toutes les hypothèses posées pour la dérivation de l'équation de Bernoulli et les justifications pour tous vos commentaires.

Comparer et commenter la différence obtenue entre les deux méthodes utilisées pour la cime totale de pression.