

## TP N°1 Action d'un jet d'eau sur des obstacles

### I. But

Le but de cette manipulation est de mesurer expérimentalement l'impact d'un jet d'eau sur trois obstacles différents et comparer les résultats avec ceux estimés théoriquement.

Cette expérience permet d'étudier l'impact d'un jet d'eau sur des obstacles différents : hémisphère, plaque plane, plaque inclinée, .... Nous montrerons que la force sur l'obstacle est fonction de la vitesse du jet et de la forme géométrique du solide. L'application des théorèmes de Bernoulli et des quantités de mouvement permet d'estimer la valeur théorique de cette force exercée.

### II. Théorie

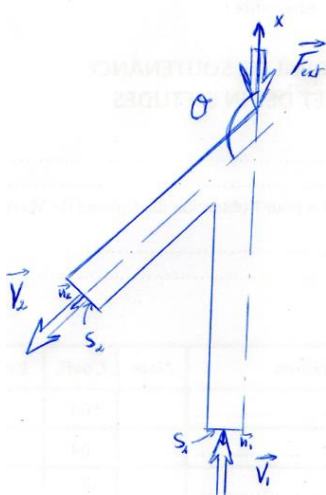
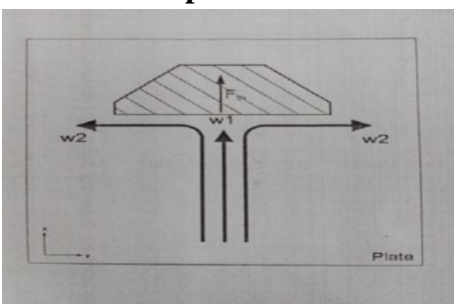
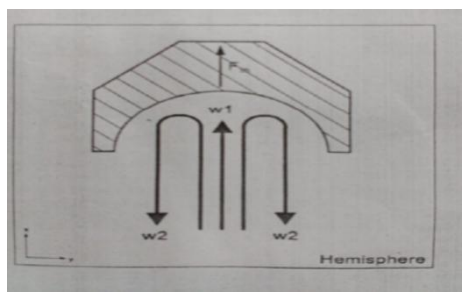
L'impact du jet d'eau se calcule à partir du théorème de quantité de mouvement.

$$\int_{dV} \frac{\partial(\rho \vec{V})}{\partial t} \cdot dV + \int_{dS} \vec{V} \cdot \rho \cdot \vec{V} \cdot \vec{n} \cdot dS = \vec{F}_{ext}$$

Le régime est permanent :  $\frac{\partial(\rho \vec{V})}{\partial t} = 0$

Donc :  $\int_{dS} \vec{V} \cdot \rho \cdot \vec{V} \cdot \vec{n} \cdot dS = \vec{F}_{ext}$

Le jet d'eau est considéré comme un problème axisymétrique donc on peut l'étudier sur un demi-plan :

	<p><b>a- Surface plane : 90°</b></p> 	<p><b>b- Surface semi-arrondie 180°</b></p> 
	$F_x = \rho \cdot \frac{Q^2}{A} = F_{th}$	$F_x = 2 \cdot \rho \cdot \frac{Q^2}{A} = F_{th}$

Si on considère la figure ci-dessus comme un volume de contrôle, on peut changer l'intégral à une sommation entre l'entrée et la sortie :

$$\sum \vec{V} \cdot \rho \cdot \vec{V} \cdot \vec{n} \cdot dS = \vec{F}_{ext}$$

Et donc :  $\vec{V}_1 \cdot \rho \cdot \vec{V}_1 \cdot \vec{n}_1 \cdot S_1 + \vec{V}_2 \cdot \rho \cdot \vec{V}_2 \cdot \vec{n}_2 \cdot S_2 = \vec{F}_{ext}$

On a aussi :  $\vec{V}_1 \cdot \vec{n}_1 = -V_1 = \frac{q_v}{S_1}$

Et :  $\vec{V}_2 \cdot \vec{n}_2 = \|V_2\| = \frac{q_v}{S_2}$

Et donc :  $\rho \cdot q_v \cdot (\vec{V}_2 - \vec{V}_1) = \vec{F}_{ext}$

Par projection sur le plan x, on trouve :

$$\rho \cdot q_v \cdot (V_2 \cdot \cos(\theta) - V_1) = F_x$$

On suppose que  $S_1 = S_2$  alors :  $V_1 = V_2 = V$

La force exercée sur l'obstacle, est égale et opposée à cette force et l'équation devient :

$$F_{th} = \rho \cdot Q \cdot V \cdot (1 - \cos(\theta))$$

Et :  $V = \frac{Q}{A}$  Donc  $F_x = \rho \cdot \frac{Q^2}{A} \cdot (1 - \cos(\theta))$  (1)

Pour un fluide réel, on tient compte des frottements en introduisant de manière empirique dans l'équation principale un coefficient  $C$  appelé souvent coefficient de rendement et défini comme suit :

$$C = \frac{F_{exp}}{F_{th}} \quad \text{soit} \quad F_{exp} = C \cdot \rho \cdot Q \cdot V \cdot (1 - \cos(\theta))$$

### Calcul de la vitesse $V_0$ en sortie de la buse

$$Q = V_0 \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{soit} \quad V_0 = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

### Calcul de la vitesse $V_1$ au point impact du jet (application du théorème de Bernoulli entre la sortie de la buse et l'impact à l'obstacle)

$$V_1^2 = V_0^2 - 2gz$$

## III. Matériels utilisés

Le banc d'essai est composé des éléments suivants (figure 1):

Un tuyau vertical alimenté par le banc hydraulique est terminé par une tuyère (ou gicleur) qui produit un jet d'eau de débit variable. Ce jet impacte un obstacle (plaque plane horizontale ou hémisphère par exemple) et repart avec un angle  $\theta$  par rapport à la direction du jet incident.

L'obstacle est soutenu par une poutre (bras de levier) que l'on peut équilibrer en déplaçant une masse. La tuyère et l'obstacle sont enfermés dans un cylindre transparent, dont la base possède un trou pour l'évacuation de l'eau vers le réservoir permettant la mesure du débit d'eau.

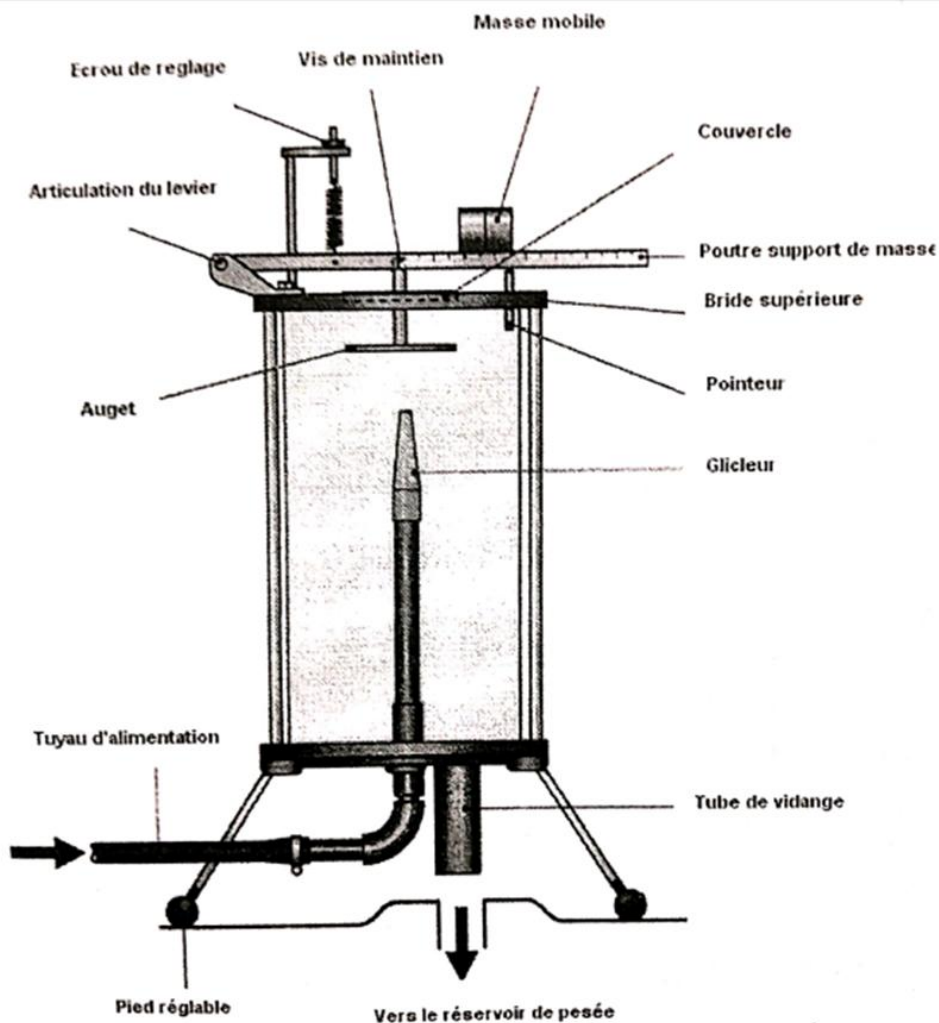


Figure 1 : Schéma d'installation



Figure 2 : Description du matériel

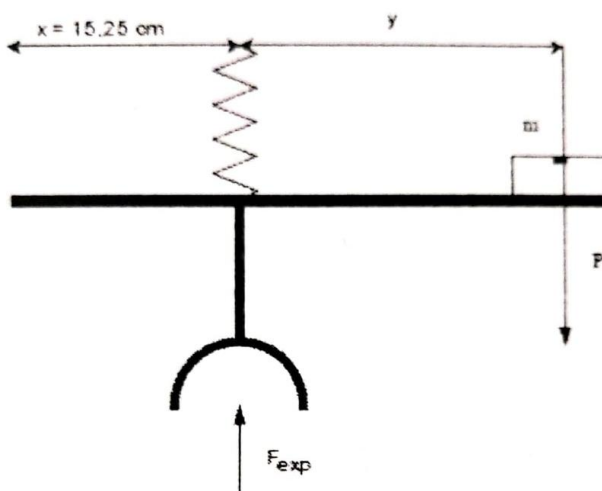


Figure 3 : Moment des forces

## IV. Protocole expérimental

### Réglage du bras de levier permettant la mesure de la force $F_{exp}$

En l'absence de jet, placer la masse au zéro de la règle et s'assurer par la vis de réglage de l'horizontalité de la poutre.

Pour cela on dispose d'un pointeur solidaire du bras de levier et possédant deux encoches.

Ce pointeur traverse le couvercle du cylindre en plexiglas et l'horizontalité est réalisée lorsque les deux encoches se situent de part et d'autre du couvercle (figure 1)

Pour connaître  $F_{exp}$  lorsqu'un jet frappe l'obstacle, il suffit de déplacer la masse jusqu'à ce que l'on ait à nouveau l'horizontalité (**Figure 3**).

La force  $F_{exp}$  est alors donnée par l'égalité des moments :

$$x \cdot F_{exp} = m \cdot g \cdot y$$

Où  $x$  est constant et vaut 15,25 cm

1. Démarrez les pompes d'alimentation du banc hydraulique ;
2. Fermez la vanne principale du banc hydraulique ;
3. Mettez la pompe du bac hydraulique en service ;
4. Ouvrir avec précaution la vanne principale du banc hydraulique et augmenter l'impact du jet via le débit jusqu'à ce que l'aiguille indique de nouveau zéro ;
5. Fermez la vanne principale du bac hydraulique ;
6. Déterminez le débit volumique. Pour cela, comptez le temps  $t$  nécessaire pour remplir le réservoir volumétrique du bac hydraulique de **10 litres** ;
7. Additionnez les poids et noter le temps  $t$  pour chaque **10 litres** ;
8. Mettez la pompe hors service, ouvrir l'écoulement ;
9. Reprenez 3 à 11 en changeant l'obstacle.

### Tableau de résultats vierge

Obstacle	N°	Volume (l)	Temps (s)	Débit Q (l/s)	Débit Q (m <sup>3</sup> /s)	Y (m)	V <sub>0</sub> (m/s)	V <sub>1</sub> (m/s)	F <sub>exp</sub> (N)	F <sub>th</sub> (N)	C
Plane	1	10									
	2										
	3										

	4										
	5										

### V. Exploitation des résultats

1. Compléter le tableau 1 ci-dessus.
2. Pour une dizaine de valeur du débit et pour les deux obstacles différents (plaque plane horizontale et calotte hémisphérique), mesurer la force  $F_{exp}$
3. Calculer, pour chaque débit, les vitesses  $V_0$  de l'eau à la sortie du gicleur et la vitesse  $V_1$  à l'altitude  $z$  de la sortie de l'obstacle.
4. En déduire le nombre de Reynolds  $Re = \frac{V_1 D}{\nu}$ .
5. On rappelle la viscosité cinématique de l'eau à 20° est  $\nu=10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s et le diamètre du gicleur (buse) est  $D=10$  mm
6. A partir du modèle théorique, calculer la force théorique  $F_{th}$  et le rapport  $C = \frac{F_{exp}}{F_{th}}$
7. Pour chaque obstacle, tracer la force calculée théorique et la force mesurée en fonction du débit  $Q$
8. Tracer le rapport  $C$  en fonction du nombre de Reynolds.
9. Commenter vos résultats.