

# TP2. Etude du Centre De Poussée

## 1- INTRODUCTION

Les forces hydrostatiques sont la force résultante causée par la charge de pression d'un liquide agissant sur des surfaces immergées. Le calcul de la force hydrostatique et la localisation du centre de poussée sont des sujets fondamentaux en mécanique des fluides. Le centre de poussée est un point sur la surface immergée auquel la force de pression hydrostatique résultante agit.

## 2- OBJECTIF

Les objectifs de cette expérience sont doubles :

- Déterminer la force hydrostatique exercées par l'eau sur une surface partiellement ou totalement immergée ;
- Déterminer, à la fois expérimentalement et théoriquement, le centre de poussée.

## 3- DESCRIPTION DE L'ÉQUIPEMENT

L'équipement est composé d'un réservoir d'eau transparent (1), d'un quadrant (2) sous forme d'un arc, d'un bras d'équilibrage (3), d'un contrepoids réglable (4) et d'un appareil de mesure du niveau (5) d'eau (figure 1). Le réservoir d'eau a une valve de vidange (6) à une extrémité et trois pieds vissés réglables (7) sur sa base pour mettre l'appareil à niveau. Le quadrant est monté sur le bras d'équilibrage qui peut tourner autour d'un axe (8). L'axe de rotation coïncide avec le centre de l'arc du quadrant ; par conséquent, la seule force hydrostatique exercée sur la surface verticale du quadrant crée un moment autour de l'axe de rotation. Ce moment peut être contrebalancé en ajoutant des poids (9) au support de poids (10), qui est situé à l'extrémité gauche du bras d'équilibrage, à une distance fixe du centre de rotation. Puisque la ligne d'actions des forces hydrostatiques appliquées sur les surfaces courbées passe par l'axe de rotation, les forces n'ont aucun effet sur le moment. La force hydrostatique et son point d'application (centre de poussée) peuvent être déterminées pour différentes profondeurs d'eau, la face verticale du quadrant étant partiellement ou totalement immergée. Un indicateur de niveau (11) fixé sur le côté du réservoir indique lorsque le bras d'équilibrage est horizontal. L'eau est admise au sommet du réservoir par un tube flexible et

peut être évacuée par un robinet situé sur le côté du réservoir. Le niveau d'eau est indiqué sur une échelle (12) sur le côté du quadrant.

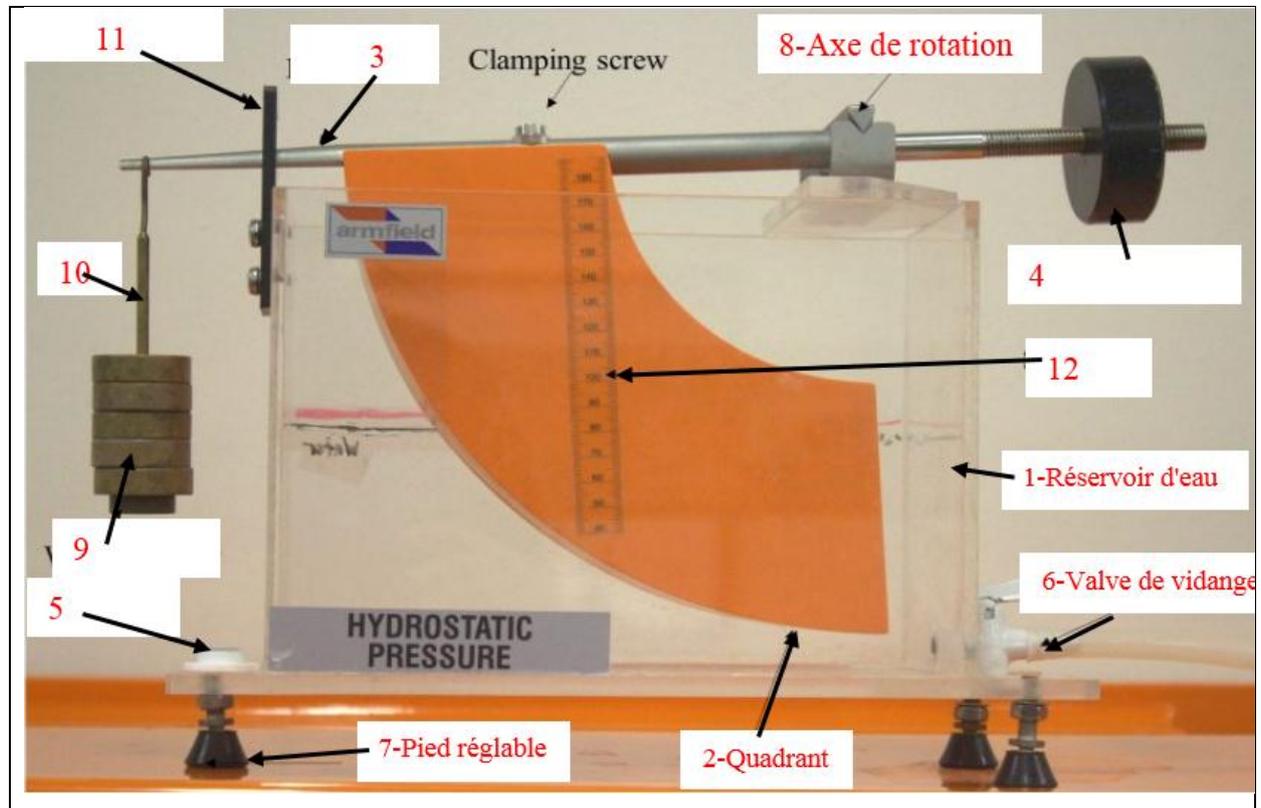


Figure 1.

#### 4- RAPPEL THÉORIE

Dans cette expérience, la force hydrostatique qui s'exerce sur la surface verticale du quadrant et son point d'application (centre de poussée) seront déterminés en augmentant la profondeur de l'eau dans le réservoir d'eau de l'appareil et en atteignant une condition d'équilibre entre les moments agissant sur le bras d'équilibrage de l'appareil d'essai. Les forces qui créent ces moments sont le poids appliqué au bras d'équilibrage et la résultante des forces hydrostatiques exercées sur le quadrant. La résultante des forces hydrostatiques appliquées au quadrant peut être déterminée en considérant les éléments suivants :

- Les forces hydrostatiques exercées sur les surfaces courbées supérieure et inférieure du quadrant n'ont aucun effet (aucun couple n'affecte l'équilibre de l'ensemble car les forces passent par l'axe de rotation).

- Les forces sur les côtés du quadrant sont horizontales et s'annulent (égales et opposées).
- La force hydrostatique sur la face immergée verticale est contrecarrée par le contrepoids. La résultante des forces hydrostatiques sur le quadrant peut donc être calculée à partir de la valeur du poids d'équilibre et de la profondeur de l'eau.
- On dit que le système est en équilibre si les moments générés, autour de l'axe de rotation, par la force hydrostatique et le poids ajouté (=  $mg$ ) sont égaux, c'est-à-dire :

$$m \cdot g \cdot L = F \cdot Y$$

où:

**$m \cdot g \cdot L$**  : le moment du poids ajouté.

**$F \cdot Y$**  : le moment de la résultante des forces hydrostatique

**$m$** : masse sur le support de poids,

**$L$** : longueur du bras d'équilibrage (distance entre le centre de rotation et le support de poids) (figure 2)

**$F$** : force hydrostatique, et

**$Y$** : distance entre le centre de rotation et le centre de poussée (figure 2).

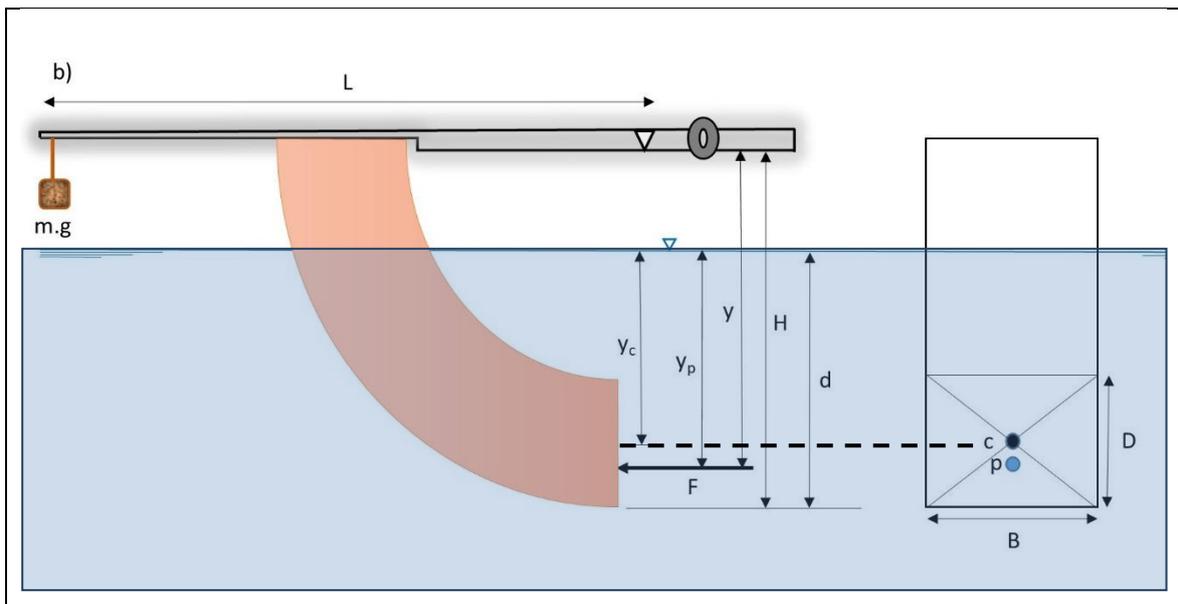


Figure 2

## 4.1. FORCE HYDROSTATIQUE

L'amplitude de la résultante des forces hydrostatiques (F) appliquées à une surface immergée est donnée par :

$$F = P_c \cdot S = \rho \cdot g \cdot y_c \cdot S$$

$P_c$ : pression effective au centre de gravité de la surface immergée

$S$ : l'aire de la surface immergée,

$y_c$ : la distance entre le centre de gravité de la surface immergée et la surface de l'eau,

$\rho$ : la masse volumique du fluide,

$g$ : l'accélération de gravité.

La force hydrostatique exercée sur la face verticale du quadrant peut être calculée comme suit :

- **Surface totalement immergée :** (figure2)

$$F = \rho \cdot g \cdot y_c \cdot S = \rho \cdot g \cdot B \cdot D \left( d - \frac{D}{2} \right)$$

$$S = B \cdot D$$

$$y_c = d - \frac{D}{2}$$

- **Surface partiellement immergée :** (figure 3)

$$F = \rho \cdot g \cdot y_c \cdot S = \frac{1}{2} \rho \cdot g \cdot B \cdot d^2$$

$$S = B \cdot d$$

$$y_c = \frac{d}{2}$$

où:

$B$ : largeur de la face du quadrant,

$d$ : profondeur de l'eau jusqu'à la base du quadrant,

$D$ : hauteur de la face du quadrant.

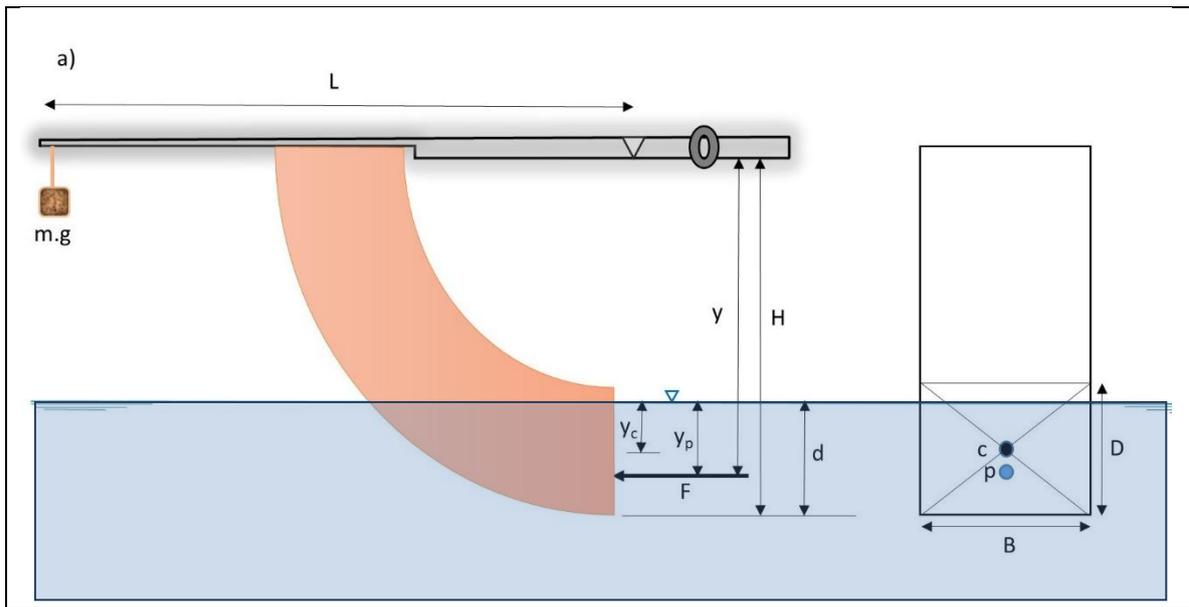


Figure 3

#### 4.2.DÉTERMINATION DU CENTRE DE POUSSÉE (théoriquement)

La profondeur du centre de poussée peut être calculer théoriquement par la formule suivante :

$$y_p = \frac{I_x}{S y_c}$$

$I_x$  est le moment quadratique (moment d'inertie) de la surface du corps immergé par rapport à un axe à la surface libre du fluide (8) :

$$I_x = I_c + S y_c^2$$

$y_c$  est la profondeur du centre de gravité de la surface immergée et  $I_c$  est le moment quadratique de surface du corps immergé par rapport à l'axe passant par le centre de gravité  $c$ . Le moment d'inertie  $I_x$  peut être calculé en utilisant l'une des deux formules suivantes :

- Pour une surface partiellement immergée :

$$I_x = \frac{Bd^3}{12} + Bd \left( \frac{d}{2} \right)^2 = \frac{Bd^3}{3}$$

- Pour une surface totalement immergée :

$$I_x = BD \left[ \frac{d^2}{12} + \left( d - \frac{D}{2} \right)^2 \right]$$

La distance entre le centre de poussée et l'axe de rotation est donnée par :

$$y = y_p + (H - d)$$

#### 4.3.DÉTERMINATION EXPERIMENTALE DU CENTRE DE POUSSÉE

Pour que le système soit en équilibre, il faut que la somme des moments des forces extérieures par rapport au centre de rotation soit nulle :

$$\vec{M}_{m.g/o} + \vec{M}_{F/o} = \vec{0} \Rightarrow m.g.L = F.y$$

Alors :

$$y = \frac{m.g.L}{F}$$

#### 5. PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

Commencez l'expérience en mesurant les dimensions de l'extrémité verticale du quadrant (B et D) et les distances (H et L), puis effectuez l'expérience en suivant les étapes suivantes :

- Essayez le quadrant avec un chiffon humide pour éliminer la tension superficielle et empêcher la formation de bulles d'air.
- Placez l'appareil sur une surface plane et réglez les pieds vissés jusqu'à ce que le niveau à bulle circulaire intégré indique que la base est horizontale. (La bulle devrait apparaître au centre du niveau à bulle.)
- Positionnez le bras d'équilibre sur le bord du couteau (axe de rotation) et vérifiez que le bras oscille librement.
- Placer le support de poids à l'extrémité du bras d'équilibrage et niveler le bras, en utilisant le contrepoids, de sorte que le bras d'équilibre soit horizontal.
- Ajoutez une masse au support de poids (par exemple 50 grammes).
- Fermez le robinet de vidange à l'extrémité du réservoir, puis ajoutez lentement de l'eau jusqu'à ce que la force hydrostatique sur la surface d'extrémité du quadrant soit équilibrée.

- Enregistrez la hauteur d'eau, qui s'affiche sur le côté du quadrant en *mm*. Si le quadrant est partiellement immergé, enregistrez la lecture dans la partie partiellement immergée du tableau des résultats.
- Répétez les étapes, en ajoutant une autre masse à chaque fois. Lorsque le quadrant est entièrement immergé, enregistrez les lectures dans la partie entièrement immergée du tableau des résultats.
- Relâchez le robinet d'eau, retirez les poids et nettoyez toute eau renversée.

## 6. TRAVAIL DEMANDÉ

On donne :

$L$ (mm)	$B$ (mm)	$D$ (mm)	$H$ (mm)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$g$ (m/s <sup>2</sup> )
275	75	100	200	1000	9.81

- 1- Compléter le tableau des résultats
- 2- Tracés des graphiques suivants :
  - La force hydrostatique en fonction de la profondeur d'immersion ;
  - Les profondeurs théorique et expérimentale du centre de poussée en fonction de la profondeur d'immersion (**dans le même graphe**),
- 3- Commentez les variations de la force hydrostatique avec la profondeur d'immersion.
- 4- Commentez la relation entre la profondeur du centre de poussée et la profondeur d'immersion.
- 5- Commentez et expliquez les écarts entre les résultats expérimentaux et théoriques pour le centre de poussée.

						Résultats expérimentaux		Résultats théoriques		
	m(kg)	d (m)	$S = B \cdot d$	$y_c$	$F = \rho \cdot g \cdot y_c \cdot S$	$M = m g L$	$y = \frac{m g L}{F}$	$I_x$	$y_p = \frac{I_x}{S y_c}$	$y = y_p + (H - d)$
Partiellement immergée										
Totalement immergée										

**TP II**

**Etude du Centre de Poussée**

**Compte rendu du TP2 : Etude du centre de Poussée**

<b>Nom :</b>	<b>Prénom :</b>	<b>Groupe :</b>
--------------	-----------------	-----------------

						Résultats expérimentaux		Résultats théoriques		
	m(kg)	d (m)	$S = B \cdot d$	$y_c$	$F = \rho \cdot g \cdot y_c \cdot S$	$M = m g L$	$y = \frac{m g L}{F}$	$I_x$	$y_p = \frac{I_x}{S y_c}$	$y = y_p + (H - d)$
Partiellement immergée	0.05	0.03								
	0.1	0.05								
	0.15	0.07								
	0.17	0.075								
	0.2	0.085								
	0.23	0.092								
Totalelement immergée	0.25	0.098								
	0.3	0.11								
	0.35	0.124								
	0.4	0.135								
	0.45	0.149								
	0.5	0.16								
	0.55	0.172								
	0.6	0.185								

