

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université A. Mira – Bejaia
Faculté de Technologie
Département de Génie Mécanique



Travaux Pratiques de Mécanique Des Fluides

TP MDF

Destiné aux étudiants

de 2^{ème} année licence en Génie Mécanique (LMD)

MOULOUD Smail

Docteur en Génie Mécanique

Département de Génie Mécanique – Faculté de Technologie

Université A. MIRA de Bejaia

[*smail.mouloud@univ-bejaia.dz*](mailto:smail.mouloud@univ-bejaia.dz)

Année universitaire : 2025/2026

Table des matières**Avant-propos**

A.	Informations utiles	1
B.	Objectifs du TP MDF :	2
C.	Les prérequis recommandés :	2
D.	Consignes pour les travaux pratiques	2
1.	Avant la séance	2
2.	Pendant la séance	3

TP N°1 : Propriétés des fluides

I.1	Objectifs du TP N°1	4
I.2	Test pré-requis	4
I.3	Rappels théoriques	5
I.3.1	Définition d'un fluide	5
I.3.2	Propriétés des fluides	5
I.3.2.1	Masse volumique	5
I.3.2.2	Densité	6
I.3.2.3	Viscosité	6
I.3.3	Détermination de la viscosité par un viscosimètre à bille :	8
I.4	Expérimentation	10
I.4.1	Mesure de masse volumique	10
I.4.1.1	Bécher gradué	10
I.4.1.2	Burette d'Eureka	11
I.4.1.3	Fiole à densité	12
I.4.2	Mesure de viscosité	13
I.5	Compte rendu	15

I.6 Solutions des exercices	16
-----------------------------------	----

TP N°2 : Principes de l'hydrostatique

II.1 Objectifs du TP 2 :	17
II.2 Test pré-requis	17
II.3 Rappels théoriques	18
II.3.1 Pression	18
II.3.2 Pression relative et pression absolue	19
II.3.3 Principe fondamentale de l'hydrostatique	20
II.3.3 Poussée sur les corps immergés	21
II.4 Expérimentation	23
II.4.1 Calcul et mesure de la pression	23
II.4.1.1 Manomètre en U (Manipulation 1)	24
II.4.1.2 Manomètre de type BOURDON (Manipulation 2)	26
II.4.1.3 Paradoxe hydrostatique (Manipulation 3)	27
II.4.2 Poussée sur les corps immergés (Manipulation 4) :	28
II.5 Test de sortie	30
II.6 Compte rendu	31
II.7 Solutions des exercices	32

TP N°3 : Forces Hydrostatiques

III.1 Objectifs du TP N°3	34
III.2 Test pré-requis	34
III.3 Rappels théoriques	35
III.3.1 Force Hydrostatique sur une surface plane	36
III.3.2 Centre de poussée	37
III.3.3 Force hydrostatique sur une paroi courbée (non-plane)	37

III.4 Expérimentation	38
III.4.1 Appareil d'étude.....	38
III.4.2 Manipulation :	40
III.4.3 Travail demandé	41
III.5 Test de sortie	41
III.6 Compte rendu	42
III.7 Solutions des exercices	43

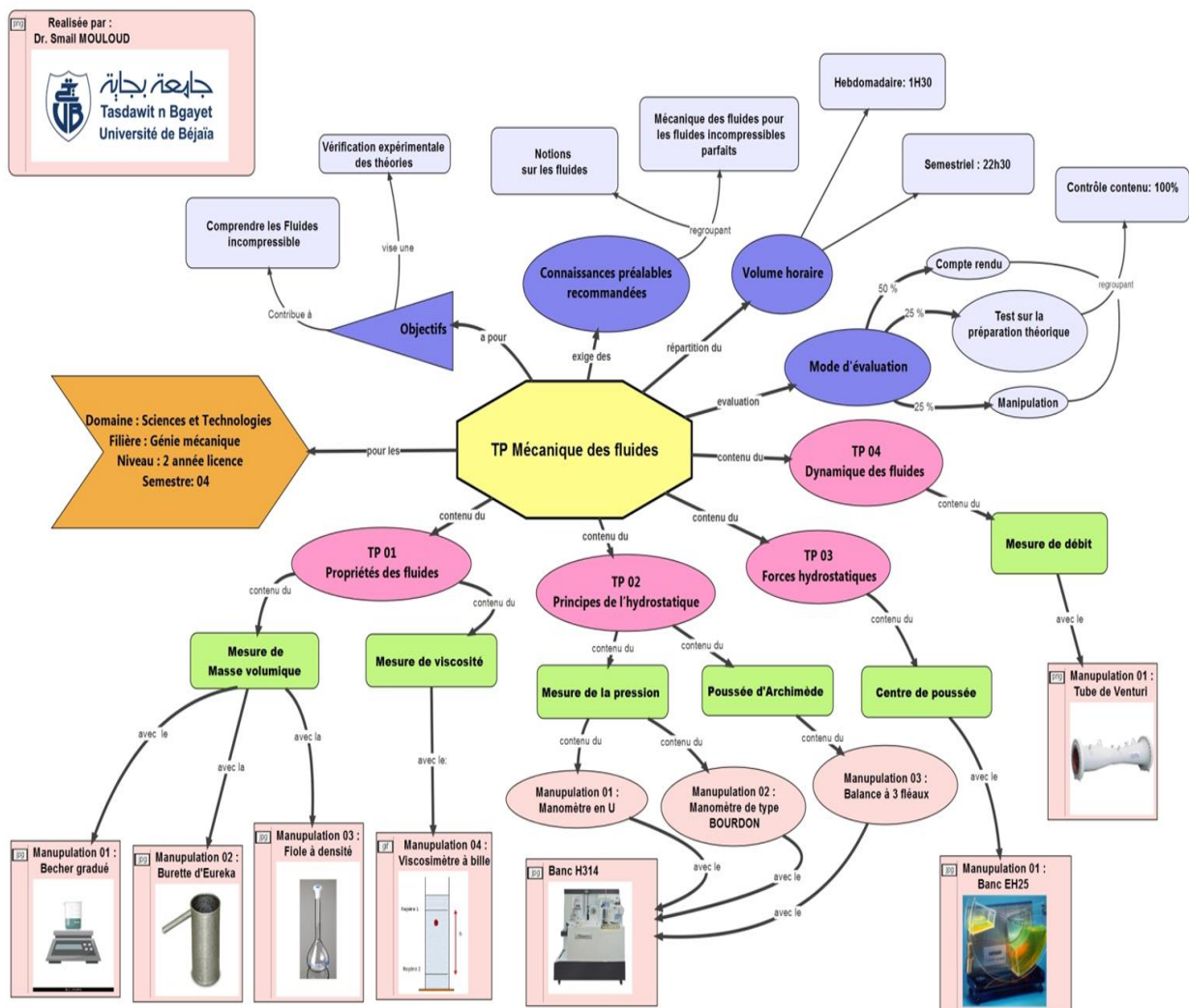
TP N°4 : Dynamique des fluides parfaits

IV.1 Objectif du TP N°4	44
IV.2 Partie théorique	44
IV.2.1. Fluide parfait	44
IV.2.2 Équation de Bernoulli (écoulement à surface libre).....	45
IV.2.3 Conservation du débit massique (continuité)	47
IV.2.4 Relation entre vitesse et hauteur d'eau.....	47
IV.2.5 L'Effet Venturi	47
IV.3 Expérimentation.....	47
IV.3.1 Appareil d'étude.....	47
IV.3.2 Mesure expérimentale des grandeurs	49
IV.3.3 Manipulation expérimentale.....	50
IV.4 Compte rendu.....	52

Avant-propos

A. Informations utiles

Ce support de travaux pratiques en mécanique des fluides, est destiné aux étudiants de 2^{ème} année licence en génie mécanique. Ce TP s'enseigne au deuxième semestre de ce niveau, après avoir fait le cours en mécanique des fluides en premier semestre.



La carte du TP MDF

B. Objectifs du TP MDF :

Les travaux pratiques en mécanique des fluides ont pour objectif de mettre en œuvre des procédés de vérifications de notions et des principes fondamentales en mécanique des fluides.

L'objectif principale de cet enseignement est d'apprendre la théorie nécessaire et les différentes techniques de vérifications pour les fluides parfaits et incompressibles, et comprendre les notions de base en mécanique des fluides et certains comportements des fluides.

C. Les prérequis recommandées :

- Notions fondamentales sur les fluides
- Les équations de la statique des fluides
- Notions sur les forces Hydrostatiques sur les surfaces planes et courbées
- Dynamique des fluides parfaits et incompressibles

D. Consignes pour les travaux pratiques

1. Avant la séance

Conseil : Préparation :

-
- Il faut d'abord lire attentivement le TP et réviser les notions théoriques sur chaque sujet de TP
 - Faites les exercices proposer sur le TP, afin d'auto-évaluer votre préparation théorique.
 - Vous **résumerez succinctement l'objectif de la séance** dans votre cahier de manipulation, pour ne pas perdre de temps durant la séance.
 - Réfléchissez à la **mise en œuvre des manipulations** et à liste du matériel nécessaire.

Matériel

Vous vous munirez :

- D'une **blouse**
- D'une calculatrice et de votre préparation.
- D'un cahier de manipulations dans lequel vous noterez les résultats expérimentaux,
- Si vous possédez une clef USB (nul besoin d'une grande capacité), vous pourrez l'utiliser pour récupérer des données informatiques

2. Pendant la séance

Conseil

- Vous travaillerez par **groupe de trois**. Chacun d'entre vous doit manipuler durant la séance.
- Pour chaque manipulation, le sujet présentera l'objectif et un exemple de consignes pour le réaliser. Efforcez-vous de mettre en place par vous-même la manipulation : ne consultez les consignes que si vous n'y parvenez pas par vous-même.
- Vous êtes libre de (et même encouragé à) réaliser des modifications sur la manipulation proposée pour tester des hypothèses que vous seriez amené à formuler.
- Réservez-vous cependant le **temps nécessaire à la réalisation** de toutes les manipulations du sujet.
- Notez dans le cahier toutes les observations personnelles que vous ferez, les problèmes particuliers rencontrés et les solutions que vous leur avez apportées.
- **Signalez immédiatement tout problème technique.**
- Vous rangerez soigneusement tout le matériel en fin de séance et les paillasses doivent rester **propres** et non encombrées.

Remarque : Évaluations :

1. Vous serez évalué individuellement sur la préparation théorique et sur la manipulation pendant les séances du TP.
2. Vous devez remettre après une semaine, un compte rendu sur le TP et répondre à toutes les questions que vous trouverez sur le support du TP.

TP N°1 : Propriétés des fluides

I.1 Objectifs du TP N°1

- Apprendre les différentes méthodes expérimentales pour mesurer la masse volumique et la viscosité du fluide
- Déduire la meilleure méthode pour déterminer expérimentalement la masse volumique du fluide
- Comprendre l'effet de la viscosité sur le comportement du fluide

I.2 Test pré-requis

Évaluez les prérequis et déterminez le niveau de vos connaissances. Cela reste une estimation ! le volume d'heures que vous devez consacrer pourra évoluer en fonction de votre implication et de votre rythme d'apprentissage.

Exercice 1

Quand Dit-on qu'un **fluide est incompressible** ?

- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| <input type="radio"/> | Pression constante |
| <input type="radio"/> | Masse volumique constante |
| <input type="radio"/> | Viscosité constante |

[Solution n°1 p 16]

Exercice 2

En mécanique des fluides, un fluide est dit **parfait**, s'il est possible de décrire son mouvement sans prendre en compte l'effet :

- | | |
|-----------------------|-----------------|
| <input type="radio"/> | De la viscosité |
| <input type="radio"/> | De la pression |
| <input type="radio"/> | De la pesanteur |

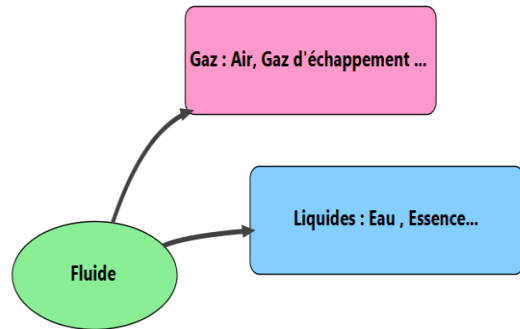
[Solution n°2 p 16]

I.3 Rappels théoriques

I.3.1 Définition d'un fluide

Définition

Qu'est-ce qu'un **fluide** ? Un fluide peut être considéré comme étant formé d'un grand nombre de particules matérielles, très petites et libres de se déplacer les unes par rapport aux autres. Un fluide est donc un milieu matériel continu, déformable, sans rigidité et qui peut s'écouler. Parmi les fluides, on fait souvent



la distinction entre **liquides** et **gaz**. Les principales différences existantes entre les liquides et les gaz sont :

- Les liquides sont pratiquement incompressibles par contre les gaz sont compressibles.
- Les liquides occupent des volumes bien définis et présentent des surfaces libres, tandis qu'une masse donnée de gaz se dilate jusqu'à occuper toutes les parties du récipient qui la contient

Remarque

Dans ce TP, on s'intéresse uniquement aux liquides

I.3.2 Propriétés des fluides

I.3.2.1 Masse volumique

Définition

La **masse volumique** ρ est une grandeur physique qui caractérise la masse d'un liquide par unité de volume. Elle est donnée par :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

m : Masse du liquide en kg

V : Volume occupé par le fluide en m³

Exemple

La masse volumique de certains liquides sont données dans le tableau suivant :

Liquide	eau (20°C)	essence (20°C)	mercure (20 °C)	huile d'olive (20°C)	lait (20 °C)	O ₂ à (- 183 °C)
ρ (kg/m ³)	1000	745	13600	913.7	1030	1141

I.3.2.2 Densité

Définition

La **densité** est le rapport de la masse volumique du liquide par la masse volumique de l'eau

$$\delta_{fluide} = \frac{\rho_{fluide}}{\rho_{eau}}$$

I.3.2.3 Viscosité

La **viscosité** (notée μ) peut être définie comme l'ensemble des phénomènes de résistance du fluide à l'écoulement.

La viscosité diminue la liberté d'écoulement du fluide et dissipe son énergie. Comme on peut le constater sur l'exemple représenté sur la figure ci-dessous, l'eau, le miel et l'huile d'olive n'ont pas le même comportement d'écoulement à cause de la différence dans la viscosité. L'eau, l'huile, le miel coulent différemment : l'eau coule vite, mais avec des tourbillons, le miel coule lentement, mais de façon bien régulière.



Figure I.1 : lustration comparative de la viscosité – eau (faible viscosité), huile d’olive (viscosité intermédiaire), miel (forte viscosité).

❖ Viscosité dynamique

Définition

On considère un fluide visqueux entre deux plaques. La couche supérieure est animée avec une vitesse relative dv par rapport à la couche inférieure. Si on représente par des vecteurs, le champ de vitesse située dans une section droite perpendiculaire à l'écoulement d'ensemble, la courbe lieu des extrémités de ces vecteurs représente le profil de vitesse. Le mouvement du fluide peut être considéré comme résultant du glissement des couches de fluide les unes sur les autres. La vitesse de chaque couche est une fonction de la distance y de cette couche au plan fixe : $v = v(y)$. Sous l'effet de la viscosité, une contrainte τ s'exerce sur la couche inférieure

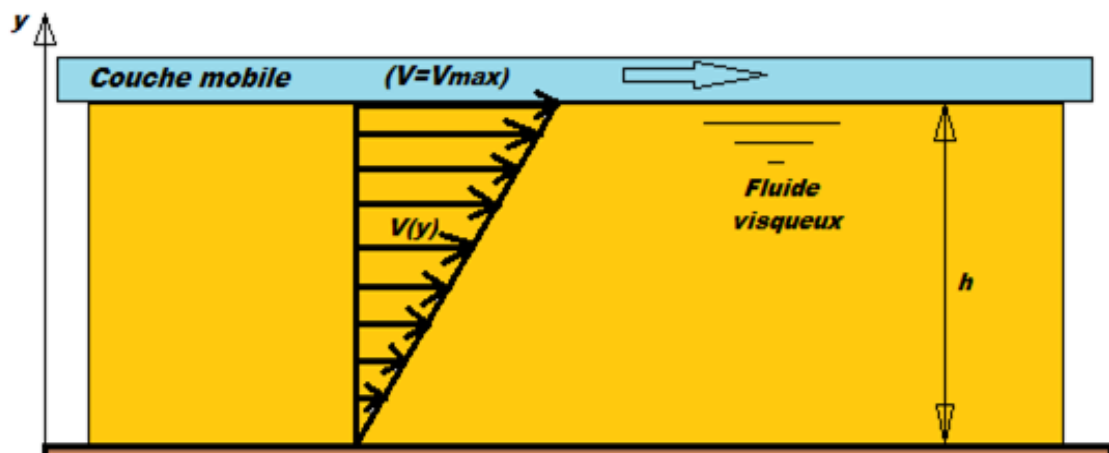


Figure I.2 : Profil de vitesse dans un fluide visqueux entre deux plaques (Ecoulement de Couette)

La **viscosité dynamique** μ pour un fluide newtonien est définie par la relation entre la contrainte τ et le gradient de vitesse dv , comme suit :

$$\tau = \mu \frac{dv}{dz}$$

la dimension de μ est $ML^{-1}T^{-1}$ et l'unité correspondante dans le SI est le $kg\ m^{-1}\ s^{-1}$, plus simplement exprimé Pascal seconde (Pa s). D'anciennes unités sont toujours plus ou moins utilisées, comme le poiseuille (Pl) (1 Pl = 1 Pa) ou bien la poise (Po) (1 Po = 0,1 Pl = 0,1 Pa).

❖ Viscosité cinématique :

La **viscosité cinématique** ν s'obtient en divisant la viscosité dynamique par la masse volumique du fluide ρ .

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

I.3.3 Détermination de la viscosité par un viscosimètre à bille :

Méthode

Afin de déterminer la *viscosité* d'un liquide, on utilise dans la manipulation un **viscosimètre à chute de bille**. Ça consiste à laisser tomber une bille dans un liquide. La vitesse de chute augmente jusqu'à devenir constante. A ce moment, les forces de cisaillement sur la bille égaleront son propre poids.

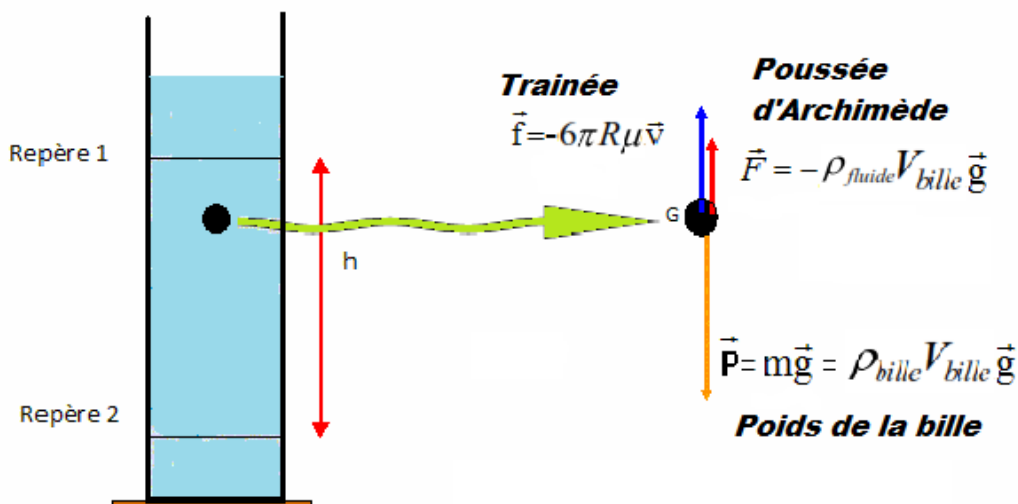


Figure I.3 : Schéma de principe d'un viscosimètre à chute de bille

Forces exercées sur la bille (quand la vitesse est constante) En régime permanent, somme des forces verticales = 0. On considère :

Poids vers le bas : $P = mg = \rho_{\text{bille}}V_{\text{bille}}g$.

Poussée d'Archimède vers le haut : $F = \rho_{\text{liquide}}V_{\text{bille}}g$.

Force de traînée visqueuse (résistance) vers la haute donnée par la loi de Stokes (pour $Re \ll 1$)

$$f = 6\pi\mu RV$$

Avec V est la vitesse moyenne de déplacement de la bille et le volume de la bille $V_{bille} = \frac{4}{3} \pi R^3$

À l'équilibre (vitesse limite) : $W - F_A - F_D = 0$

Substituons les expressions :

$$\rho_{bille} V_{bille} g - \rho_{liquide} V_{bille} g - 6 \pi \mu R V = 0.$$

Factorisons $V_{bille} g$:

$$(\rho_{bille} - \rho_{liquide}) V_{bille} g = 6 \pi \mu R V.$$

Remplaçons $V_{bille} = \frac{4}{3} \pi R^3$

$$(\rho_{bille} - \rho_{liquide}) \frac{4}{3} \pi R^3 g = 6 \pi \mu R V.$$

On peut simplifier par π et R :

$$(\rho_{bille} - \rho_{liquide}) \frac{4}{3} R^2 g = 6 \mu V.$$

On obtient au final:

$$\mu = \frac{2gR^2}{9V} (\rho_{bille} - \rho_{liquide})$$

Sachant que les forces qui s'appliquent sur la bille sont la force de traînée (Force de frottement visqueux), la pesanteur (poids de la bille) et la poussée d'Archimède, à supposer que la bille n'accélère pas (ou du moins que cette accélération est négligeable). On peut exprimer la viscosité [9] en fonction du rapport de masses volumiques entre le fluide et la bille comme suit² :

$$\mu = \frac{2gR^2}{9V} (\rho_{bille} - \rho_{liquide}) \dots \dots \dots (1)$$

g [m/s²] est l'accélération gravitationnelle.

$\rho_{liquide}$ [kg/m³] est la masse volumique du fluide .

ρ_{bille} [kg/m³] est la masse volumique de la bille.

V [m/s] est la vitesse de la bille dans le fluide

$V_{bille} = \frac{4}{3} \pi R^3$ [m³] est le volume de la bille

R [m] est le rayon de la bille

I.4 Expérimentation

I.4.1 Mesure de masse volumique

I.4.1.1 Bêcher gradué

Méthode : Manipulation 1 :

Les étapes pour cette manipulation sont les suivantes :

1. A l'aide d'une balance électronique, peser le bêcher vide
3. Remplir le bêcher avec un liquide et noter son volume
4. Peser le bêcher rempli de liquide et noter la masse
5. Déduire la masse du liquide.
6. Calculer la masse volumique du liquide.



Figure I.4 : Bêcher gradué

Manipulation 1 : En utilisant le bêcher gradué		
Masse de bêcher vide (g)	Masse de bêcher rempli (g)	volume du liquide (ml)
...

I.4.1.2 Burette d'Euréka*Méthode : Manipulation 2 :*

La **burette d'Euréka** est un récipient à bec fixe (voir la figure ci-contre). Les étapes pour la deuxième manipulation sont les suivantes :



Figure I.5 : La burette d'Euréka

- Poser la burette sur un plan horizontal.
- Remplir la burette d'Euréka avec de l'eau et laisser l'eau sortir par le bec jusqu'à qu'il se stabilise
- Peser un bécher vide, puis le placer sous le bec. Prendre un objet solide de dimensions connues (une bille par exemple) et le mettre à l'intérieur de la burette d'Euréka. Le volume de l'eau recueilli dans le bécher égal au volume de l'objet.
- Peser une deuxième fois le bécher plus l'eau.
- Déduire la masse de l'eau
- Calculer le volume de l'objet (la bille)
- Calculer la masse volumique de l'eau.

Manipulation 2 : En utilisant la Burette d'Euréka			
Masse du bécher vide (g)	Masse du bécher rempli (g)	Diamètre de la bille (mm)	volume de la bille (mm ³) _ $\frac{4}{3} \pi R^3$
...

I.4.1.3 Fiole à densité

Méthode : Manipulation 3 :

Les étapes pour accomplir cette manipulation sont :

- Sécher les parois de **la fiole** et peser la fiole avec son bouchon
- Remplir la fiole jusqu'au bord et la reboucher.
- Sécher la paroi extérieure de la fiole et vérifier que le liquide dans l'orifice est au niveau du haut du bouchon.
- Peser encore une deuxième fois la fiole avec le liquide et déduire la masse du liquide.
- Calculer la masse volumique du liquide.



Figure I.6 : Fiole à densité

On peut utiliser un Instrument spécialement calibré appelé hygromètre. Celui-ci a la forme d'un flotteur en verre creux, fait pour rester droit dans les liquides. La profondeur à laquelle la tige pénètre dans le liquide est une mesure de la masse volumique.

Manipulation 3 : En utilisant la Fiole à densité		
Masse de la Fiole vide (g)	Masse de la Fiole rempli (g)	volume de la Fiole (ml)
-	-	-

Complément : Question pour la partie ci-dessus :

Est-ce que la masse volumique calculée avec les trois instruments pour le même fluide est la même ? Justifier votre réponse.

I.4.2 Mesure de viscosité

Méthode : Manipulation 4 :

Remplir trois éprouvettes avec trois liquides différents (**Glycérine, Huile végétale et Huile moteur**).

Les étapes à suivre pour déterminer la viscosité de chaque fluide sont les suivantes :

1. Insérer le guide à bille dans l'éprouvette pour pouvoir récupérer les billes à la fin de la manipulation.
2. Placer le marquage à bande supérieur (Repère 1) environ 20 mm sous le niveau de la surface libre.
3. Placer le marquage Inférieur (Repère 2) environ 250 mm sous le premier.
4. Faire tomber la bille dans le fluide sans vitesse initiale et chronométrer la chute entre les deux marques (Trois essais pour chaque fluide).
5. Remplir le tableau ci-dessous et calculer la vitesse de déplacement de la bille à l'intérieur de chaque fluide.
6. Déduire la viscosité dynamique et cinématique de chaque fluide.
7. Faire une comparaison entre la valeur expérimentale et la valeur théorique.

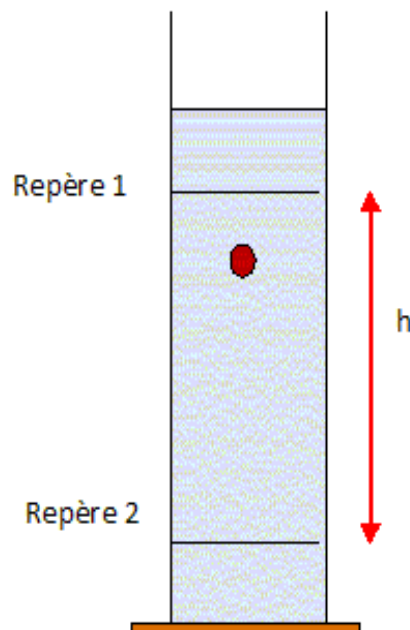


Figure I.7 : Viscosimètre à bille

Manipulation 4 : Détermination de la viscosité des fluides			
liquides	Glycérine	Huile végétale	Huile moteur (SAE 10W40)
Masse volumique du liquide (kg/m^3)	1260	920	870
Masse volumique de la bille (g/cm^3)	1.45	1.45	1.45
Diamètre de la bille (mm)	8	8	8
Distances parcourues h (mm)	250	250	250
Temps enregistrés (s)	$t_1 =$	$t_1 =$	$t_1 =$
	$t_2 =$	$t_2 =$	$t_2 =$
	$t_3 =$	$t_3 =$	$t_3 =$
Temps moyens (s) $\Delta t_m = (t_1 + t_2 + t_3) / 3$	$\Delta t_m =$	$\Delta t_m =$	$\Delta t_m =$

I.5 Compte rendu

Veillez remettre un compte rendu sur les manipulations effectuées. ?

Le sous-groupe doit décrire d'une manière très claire et originale toutes les manipulations. le compte rendu de travaux pratiques est un rapport manuscrit détaillant l'ensemble des manipulations qui se sont déroulés lors des TP. Il sert d'une part à vérifier les connaissances acquises et de l'autre, à renforcer votre façon de présentations. Ainsi, avoir un compte rendu bien rédigé, original et bien présenté est essentiel pour une bonne note de TP.

I.6 Solutions des exercices

> Exercice 1 :

- | | |
|----------------------------------|---------------------------|
| <input type="radio"/> | Pression constante |
| <input checked="" type="radio"/> | Masse volumique constante |
| <input type="radio"/> | Viscosité constante |

> Exercice 2 :

- | | |
|----------------------------------|-----------------|
| <input checked="" type="radio"/> | de viscosité |
| <input type="radio"/> | de pression |
| <input type="radio"/> | de la pesanteur |

TP N°2 : Principes de l'hydrostatique

II.1 Objectifs du TP 2 :

- Mesurer la pression hydrostatique et vérifier l'équation fondamentale de l'hydrostatique
- Comprendre le paradoxe de l'hydrostatique
- Mesurer et vérifier le principe de la poussée d'Archimède.

II.2 Test pré-requis

Exercice 1 :

Les conditions pour appliquer L'E.F.H. sont :

Masse volumique constante

Pression constante

Fluide au repos

Fluide en mouvement

[Solution n°1 p 32]

Exercice 2 :

Peut-on appliquer L'EFH entre deux fluides de masses volumiques différentes ?

oui

non

[Solution n°2 p 32]

Exercice 3 :

Dans l'E.F.H., la pression dépend linéairement de :

la viscosité

la hauteur

la pression atmosphérique

[Solution n°3 p 32]

II.3 Rappels théoriques

II.3.1 Pression

Fondamental

Afin de déterminer les effets des forces produites par des liquides au repos, il faut connaître la pression en chaque point du liquide et la direction des forces.

La **pression** est définie classiquement comme l'intensité de la force qu'exerce un fluide par unité de surface : $P=F/S$

P: Pression (N/m² ou Pa)

F: Force (N)

S: Surface (m²)

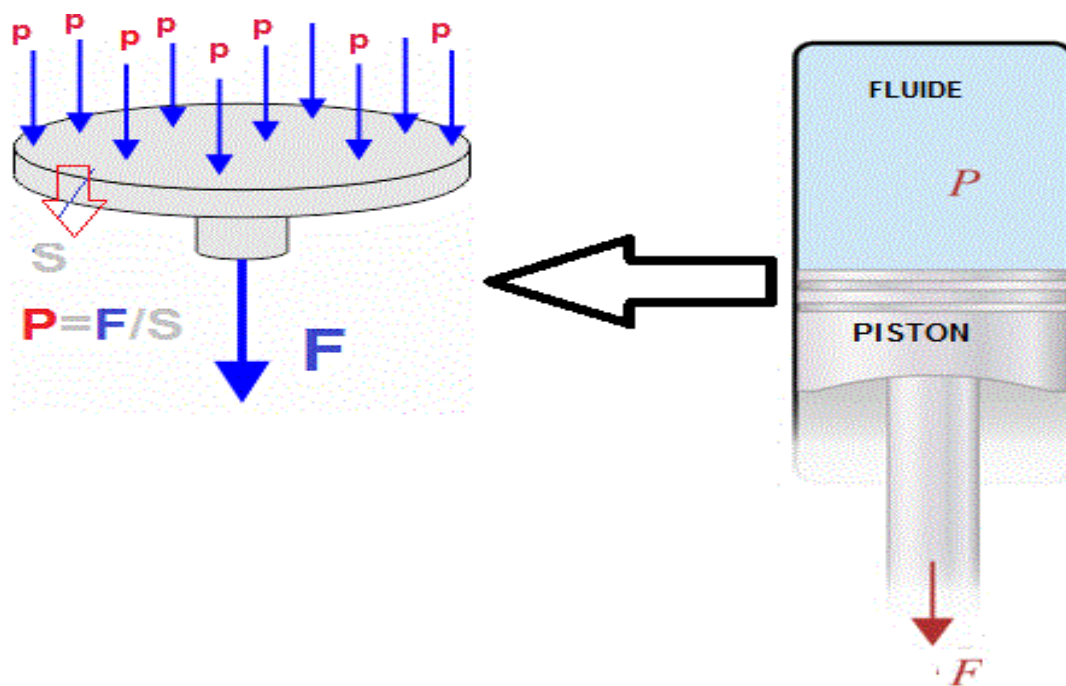


Figure II.1: Distribution de la pression sur un piston

Remarque

- La pression en un point dans un liquide agit de manière égale dans toutes les directions.

- Les forces de pression agissant entre les liquides et les limites du solide agissent toujours à la perpendiculaire du plan de la limite solide.
- La pression est la même en tous points sur tout plan horizontal dans un liquide au repos.

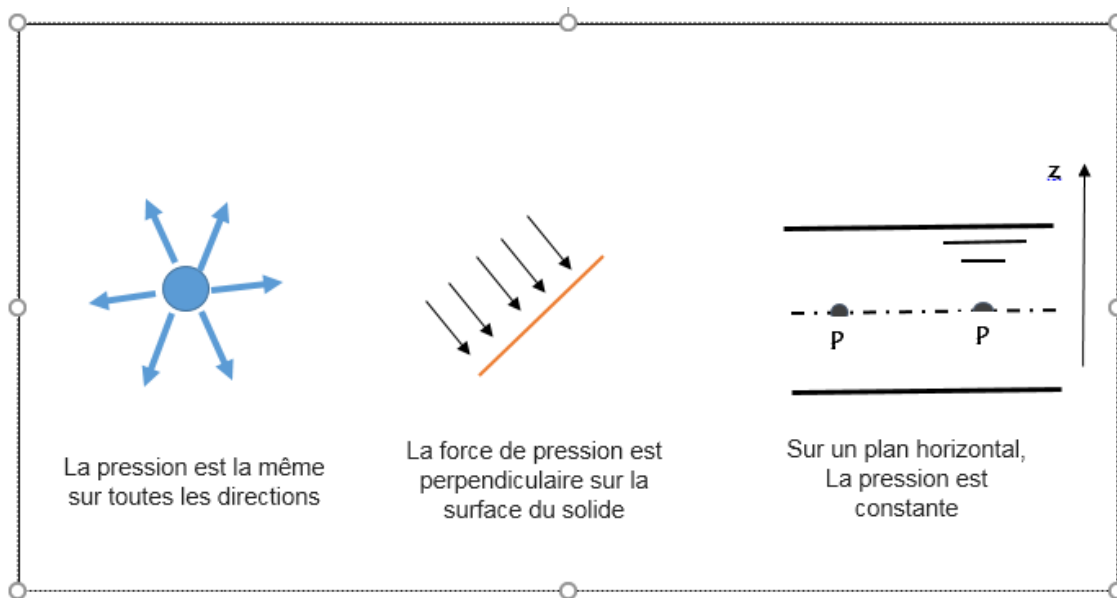


Figure II.2: Notions sur la pression

II.3.2 Pression relative et pression absolue

❖ La **pression relative** (P_{rel}) :

C'est la pression qui s'exerce sur un milieu matériel sans compter la pression atmosphérique. En d'autres termes, la pression relative prend comme point de départ (zéro) la pression atmosphérique.

❖ **Pression absolue** (P_{abs}) :

Elle se mesure à partir du vide, de la pression zéro absolue. C'est le vide parfait, sans pression atmosphérique. En d'autres termes, la pression absolue prend comme point de départ (zéro) la pression nulle du vide.

$$Pression\ absolue = Pression\ relative + Pression\ atmosphérique$$

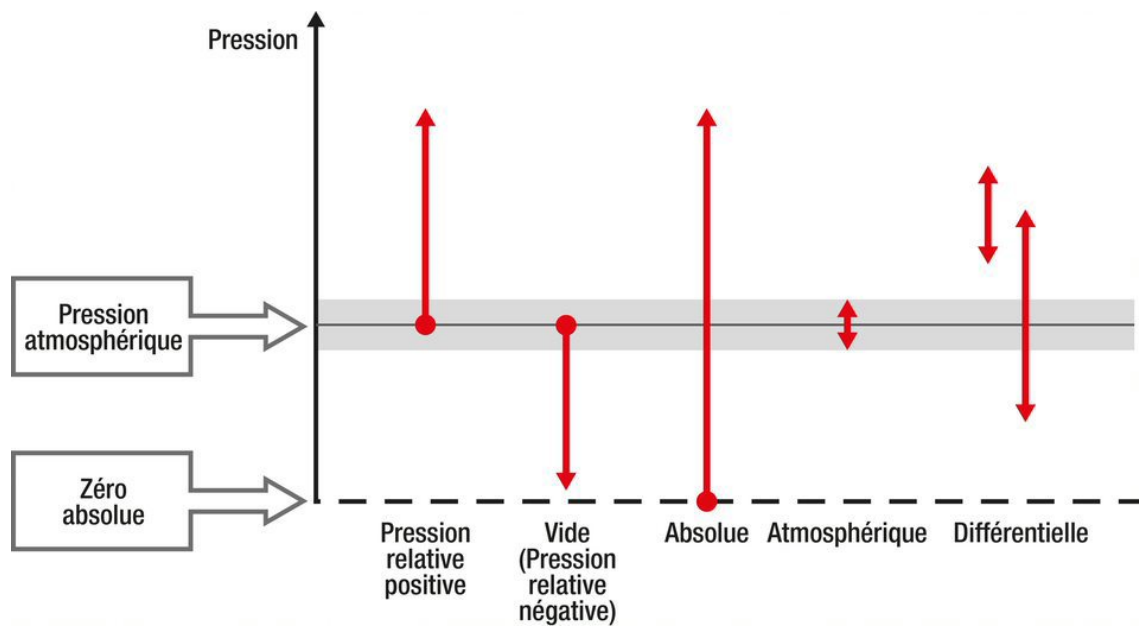


Figure II.3 : Les différents types de pression : absolue, atmosphérique, relative et différentiel

II.3.3 Principe fondamentale de l'hydrostatique

L'hydrostatique ou la statique des fluides, est l'étude des fluides immobiles. On s'intéresse dans cette branche aux pressions et aux forces de pressions qui s'exercent sur des surfaces solides.

Considérons la colonne d'eau de la figure ci-dessous. La surface de section transversale est constante et égale à A , la hauteur est h et le liquide est de masse volumique constante ρ .

La force F exercée par la colonne d'eau sur le plan 2 est la somme de la force de la pression P_1 agissant sur la surface A et le poids de l'eau entre 2 et 1.

$$F_2 = P_2 * A = P_1 * A + \rho . g . A . h$$

on simplifie la surface A dans l'équation précédente, donc l'équation fondamentale de l'hydrostatique s'écrit comme suit :

$$P_2 = P_1 + \rho g h$$

avec: $h = z_1 - z_2$

si $P_1 = P_{atm}$ donc $P_{2rel} = \rho g h$

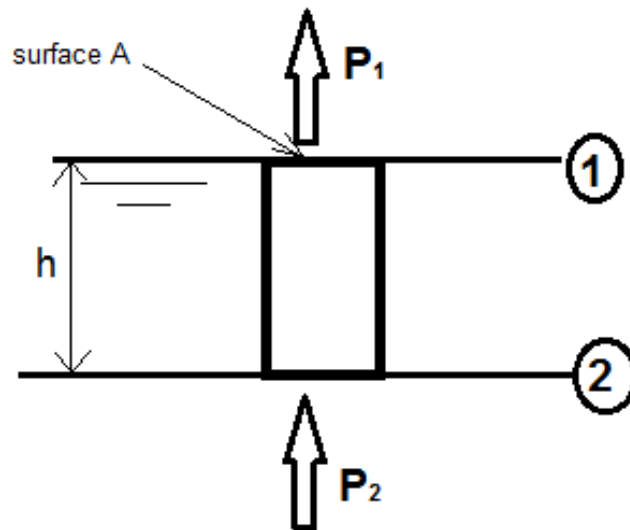


Figure II.4 : Pression hydrostatique entre deux points

Remarque

1. On remarque que la **pression varie linéairement** en fonction de la **hauteur h** et que la pression P_1 est transmise jusqu'à la profondeur h

II.3.3 Poussée sur les corps immergés

Considérons un corps immergé dans une burette d'Eureka rempli d'un liquide (voir la figure ci-dessous), Le volume du fluide déplacé par le solide plongé dans le fluide, récupéré et mesuré donne le même volume que le solide.

Lorsqu'un solide est totalement ou partiellement immergé dans un liquide, celui-ci exerce sur le solide une force verticale dirigée vers le haut appelée **poussée d'Archimède**. Cette force est égale au poids du volume de liquide déplacé par le solide. Elle s'exprime par la relation :

$$F = \rho \cdot V_i \cdot g = \rho \cdot V_d \cdot g$$

Où ρ est la masse volumique du liquide, V_i le volume immergé du solide, et g est l'accélération de la pesanteur. Ainsi, le volume de liquide déplacé (V_d) est égal au volume immergé du solide (V_i), ce qui traduit l'équilibre entre la poussée exercée par le liquide et le poids du fluide déplacé.

La quantité (V_d) correspond au volume de l'eau déplacé par la partie immergée du corps. On conclut que la poussée exercée sur le corps est égale au poids du volume du liquide déplacé pour obtenir l'équilibre du corps, c'est la **loi d'Archimède** (voir la figure ci-dessous).

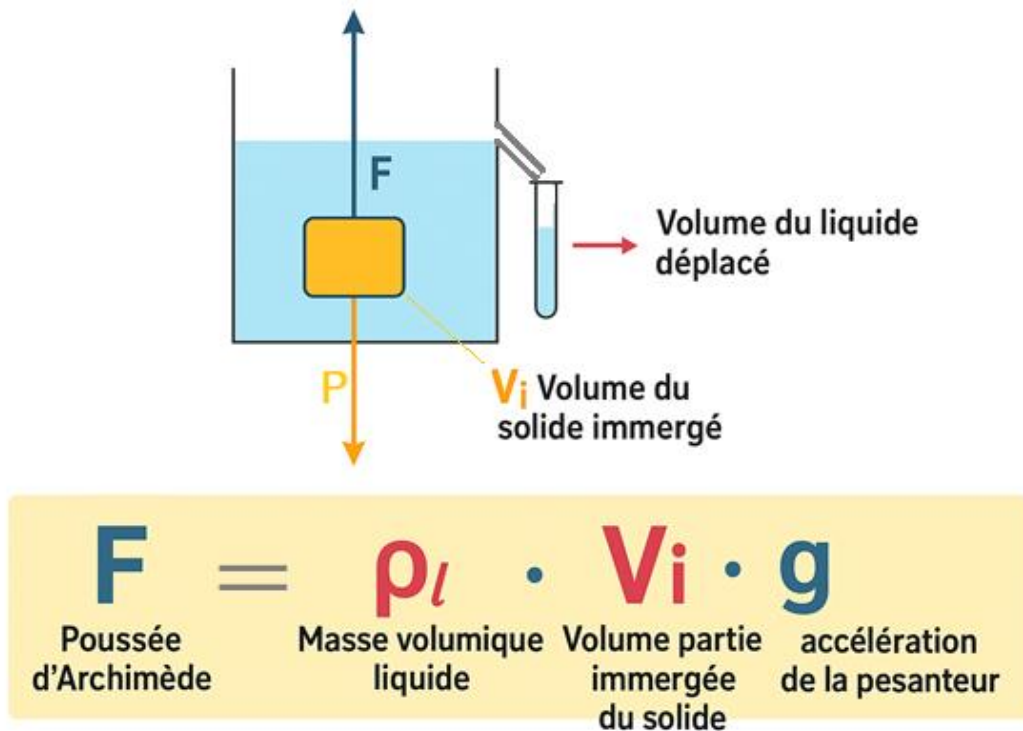


Figure II.5 : Poussée d'Archimède

Remarques :

- La poussée d'Archimède dépend uniquement du liquide et du volume immergé, pas du matériau du solide.
- Si le poids du solide est supérieur à la poussée d'Archimède, il coule.
- Si le poids est inférieur, l'objet flotte partiellement immergé, jusqu'à ce que les deux forces s'équilibrent.
- La poussée est proportionnelle à la densité du fluide : elle est plus grande dans l'eau que dans l'air, par exemple.
- Ce principe s'applique à tous les fluides (liquides et gaz). C'est grâce à lui que les bateaux flottent, que les sous-marins plongent et remontent, et que les ballons d'air chaud s'élèvent dans l'atmosphère.

- Enfin, comme le montre le schéma, le volume de liquide déplacé (V_d) est égal au volume immergé du solide (V_i), soit :

$$V_d = V_i$$

II.4 Expérimentation

II.4.1 Calcul et mesure de la pression

Banc didactique d'étude des propriétés des fluides et de l'hydrostatique [7] permettant une large gamme de démonstrations et d'expériences en statique des fluides, incluant les mesures de masse volumique, de densité, la loi de Pascal, la flottabilité et la stabilité des corps flottants, la loi d'Archimède, les mesure de pression, et bien d'autres encore. Mobile, autonome et économique compte tenu de l'ensemble des expériences possibles avec un même appareil. À l'aide de cet équipement pédagogique, on peut réaliser les manipulations prévues pour ce chapitre.



Figure II.6 : Banc didactique d'étude des propriétés des fluides et de l'hydrostatique - H314

II.4.1.1 Manomètre en U (Manipulation 1)

Méthode : Manipulation 1 :

Remplir l'un des deux tubes en U avec de l'eau et l'autre avec de l'huile.

- **Cas de pression** : Avec une seringue (voir la figure ci-contre), introduire de l'air dans les deux manomètres en U par la vanne, jusqu'à avoir une différence de niveau dans le manomètre à eau de h_1 cm et noter la différence de niveau dans le manomètre à l'huile.
- **Cas de dépression** : Annuler la pression exercée et avec la même seringue, aspirer de l'air dans les deux manomètres en U, jusqu'à avoir une différence de niveau dans le manomètre à eau de h_2 cm et noter la différence de niveau dans le manomètre à l'huile.



Figure II.7 : Manomètre en U

Travail demandé :

- Calculer les pressions absolue et relative au point 1 (figure 1).
- Calculer la masse volumique de l'huile.
- Calculer les pressions absolue et relative au point 5 (figure 2).
- Positionner les points 1 et 5 sur l'échelle des pressions absolues et relatives .
- Sachant que la pression absolue ne peut pas être négative, quelle est la valeur maximale que peut atteindre h_2 . Elle est de combien cette valeur si on met du mercure de densité 13.6 dans le manomètre.
- Tracer la variation de la pression absolue et relative au point 2 en fonction de h_2 .

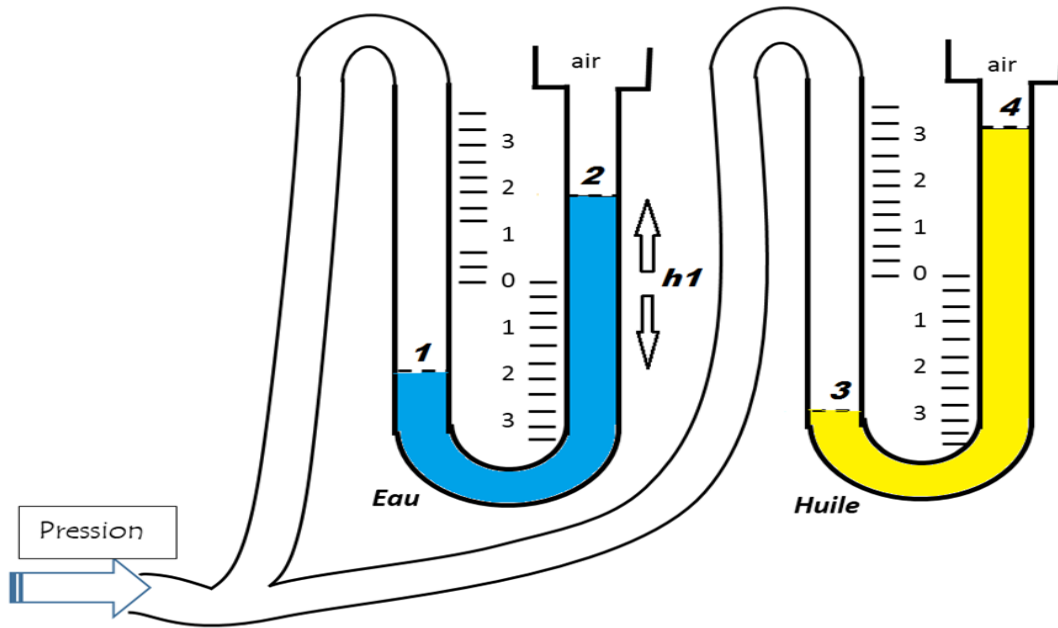


Figure 1

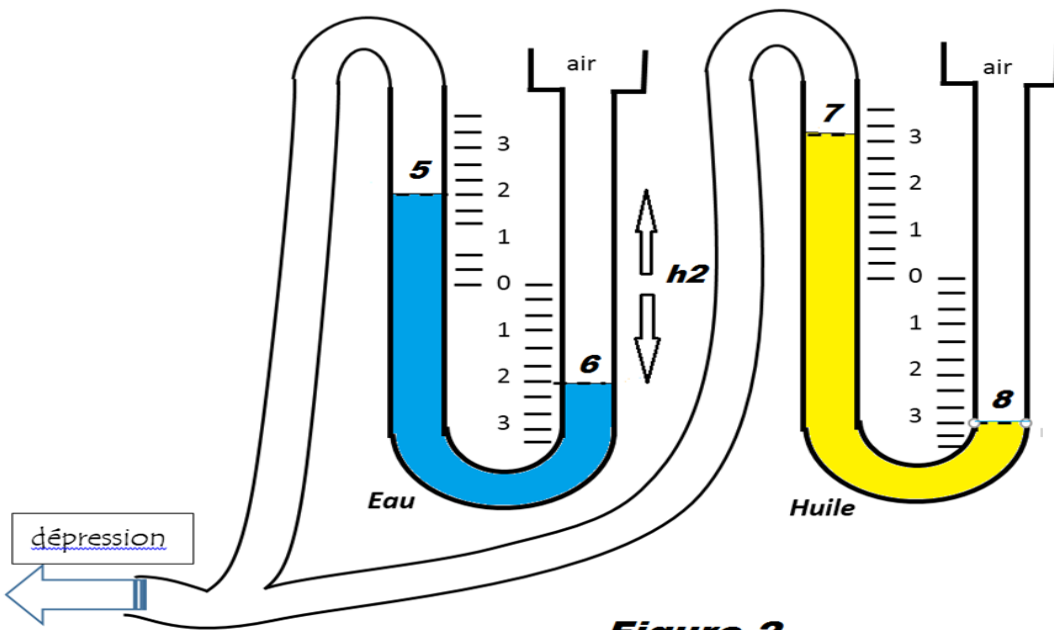


Figure 2

Figure II.8 : Fonctionnement du manomètre en U

II.4.1.2 Manomètre de type BOURDON (Manipulation 2)

Complément

Les manomètres à tube manométrique encore appelés manomètres à tube de Bourdon sont utilisés pour mesurer des pressions manométriques de 0,6 ... 7 000 bar. Ils sont classifiés comme des instruments de mesure de pression mécaniques et fonctionnent donc sans aucune alimentation électrique

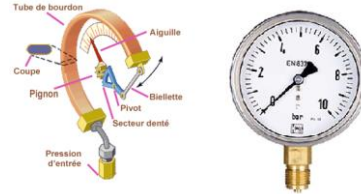


Figure II.9 : La jauge à tube de Bourdon

Méthode : Manipulation 2 :

1. Mettre les masses suivant le tableau ci-contre sur l'éprouvette de calibrage, puis lire et noter la pression correspondante en KN/m^2 pour chaque masse ajouter.

Masse (kg)	1	1.5	2	3	4	5	6
Pression (KN/m^2)	-	-	-	-	-	-	-



Eprouvette de calibrage



lire la pression sur le manomètre à bourdon

Figure II.10 : Manomètre à tube de Bourdon dans le TP

II.4.1.3 Paradoxe hydrostatique (Manipulation 3)

Méthode : Manipulation 3 :

L'appareil du paradoxe hydrostatique [6] se compose de tubes verticaux de tailles, formes et sections transversales différentes (voir la figure ci-dessous).

Les tubes sont reliés par une conduite horizontale à la base, relié elle aussi au réservoir supérieur. La vidange se fait par la vanne .

- Fermer la vanne de vidange
- Prévoir les niveaux d'eau dans les tubes
- Remplir le réservoir supérieur

Faites une conclusion sur ce que vous avez remarqué.

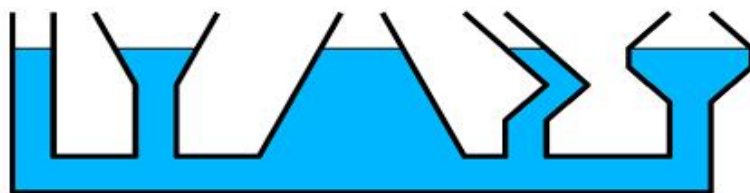


Figure II.11 : L'appareil du paradoxe hydrostatique

II.4.2 Poussée sur les corps immergés (Manipulation 4) :

Méthode : Manipulation 4

La loi d'Archimède peut être démontrée en utilisant le corps cylindrique attaché à la moulure au-dessus de la balance (voire la figure ci-dessous). les étapes pour la manipulation 4 sont les suivantes :

- ✓ Peser le poids du bécher vide et mesurer le diamètre du corps cylindrique avec le pied à coulisse
- ✓ Retourner le corps cylindrique et l'introduire dans le bécher qu'on place sur le plateau de La balance mécanique à triple faisceau (voir la figure)
- ✓ Remplir le bécher avec de l'eau jusqu'à ce que le corps soit juste dans le liquide.
- ✓ Noter le poids
- ✓ Ajouter 25 ml d'eau dans le bécher
- ✓ Noter le poids
- ✓ Noter la hauteur d'eau h entre la base du corps cylindrique et la surface libre de l'eau dans le bécher
- ✓ Refaire les étapes 5, 6 et 7 jusqu'au remplissage du bécher

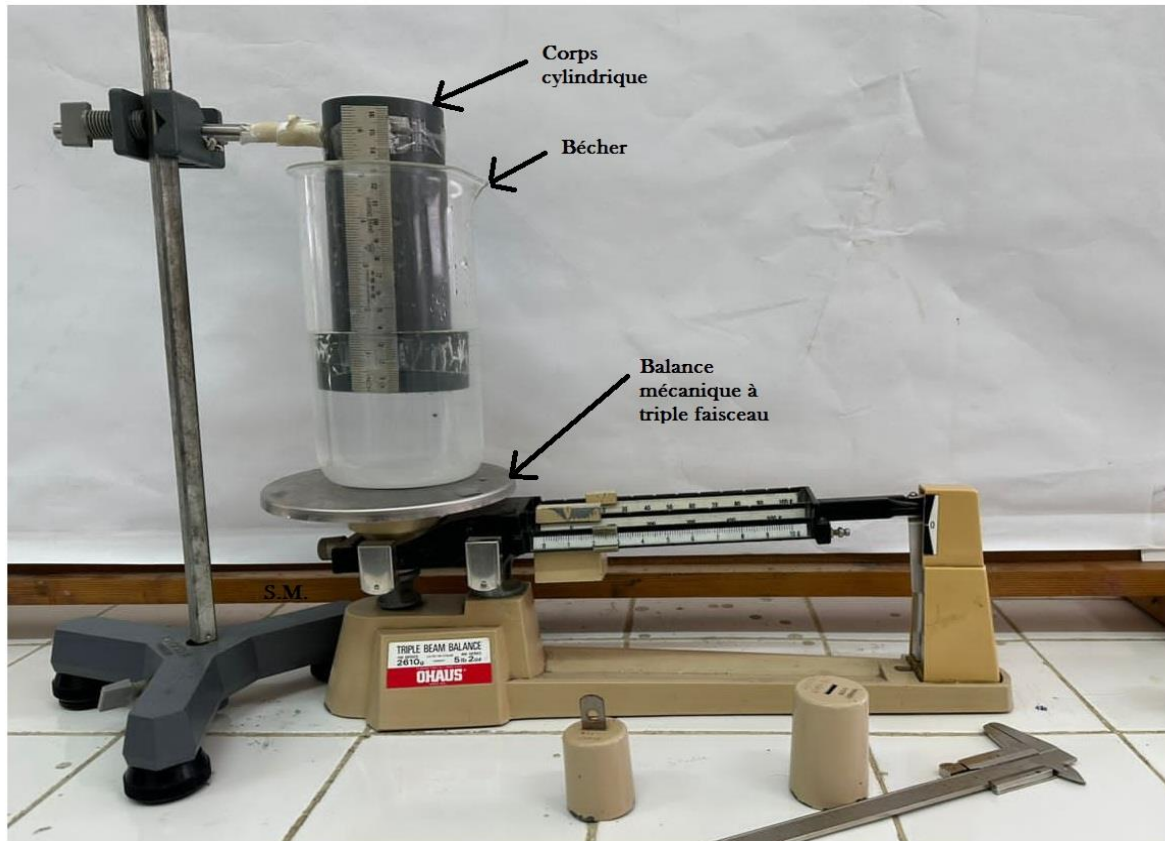


Figure II.12 : L'appareil de la poussée d'Archimède

❖ Travail demandé :

- Dans chaque cas, calculer le poids du bécher plus eau.
- Comparer ces valeurs avec les valeurs données par la balance
- Expliquer
- En utilisant les repenses 1 et 2, calculer dans chaque cas la force exercée par le cylindre sur l'eau (cette force est la même que celle exercée par l'eau sur le cylindre).
- Calculer dans chaque cas, le poids du volume du liquide déplacé.
- Conclusion

II.5 Test de sortie

Exercice 4

Un bateau par exemple, plongé dans un fluide, l'eau de mer en l'occurrence. Si ce bateau ne coule pas, c'est parce que :



- le poids est supérieur à la poussée d'Archimède
- le poids est inférieur à la poussée d'Archimède
- le poids est égal à la poussée d'Archimède

[Solution n°4 p 32]

Exercice 5

Considérons un corps solide immergé dans une burette d'Eureka rempli d'un liquide

- le volume du fluide déplacé par le corps égale au volume du corps
- le volume du fluide déplacé par le corps supérieure au volume du corps
- le volume du fluide déplacé par le corps inférieure au volume du corps

[Solution n°5 p 33]

Exercice 6

Les manomètres à tube de Bourdon sont utilisés pour mesurer :

- la viscosité
- la pression
- la masse volumique

[Solution n°6 p 33]

Exercice 7 :

Déterminer les différentes unités de la pression en Pascal :

1 bar	1 mCE	1 mmHg	1 hPa (hectopascal)
Pa	Pa	Pa	Pa

[Solution n°7 p 33]

Exercice 8 :

La **pression** est définie classiquement comme l'intensité de la force qu'exerce un fluide par unité de surface : $P=F/S$. Donc 1.2 KN /m² est égale à ;

- 1200 N/m²
- 1200 Pa
- 1.2 Pa
- 12 N/m²

[Solution n°8 p 33]

II.6 Compte rendu

Veillez remettre un compte rendu sur les manipulations effectuées. ?

Le sous-groupe doit décrire d'une manière très claire et originale toutes les manipulations. Le compte rendu de travaux pratiques est un rapport manuscrit détaillant l'ensemble des manipulations qui se sont déroulés lors des TP. Il sert d'une part à vérifier les connaissances acquises et de l'autre,

à renforcer votre façon de présentations. Ainsi, avoir un compte rendu bien rédigé, original et bien présenté est essentiel pour une bonne note de TP.

II.7 Solutions des exercices

> Solution n°1

<input checked="" type="checkbox"/>	Masse volumique constante
<input type="checkbox"/>	Pression constante
<input checked="" type="checkbox"/>	Fluide au repos
<input type="checkbox"/>	Fluide en mouvement

> Solution n°2

<input type="radio"/>	oui
<input checked="" type="radio"/>	non

> Solution n°3

<input type="radio"/>	la viscosité
<input checked="" type="radio"/>	la hauteur
<input type="radio"/>	la pression atmosphérique

> Solution n°4

<input type="radio"/>	le poids est supérieur à la poussée d'Archimède
<input type="radio"/>	le poids est inférieur à la poussée d'Archimède
<input checked="" type="radio"/>	le poids est égal à la poussée d'Archimède

> **Solution n°5**

- | | |
|----------------------------------|--|
| <input checked="" type="radio"/> | le volume du fluide déplacé par le corps égale au volume du corps |
| <input type="radio"/> | le volume du fluide déplacé par le corps supérieure au volume du corps |
| <input type="radio"/> | le volume du fluide déplacé par le corps inférieure au volume du corps |

> **Solution n°6**

- | | |
|----------------------------------|--------------------|
| <input type="radio"/> | la viscosité |
| <input checked="" type="radio"/> | la pression |
| <input type="radio"/> | la masse volumique |

> **Solution n°7**

1 bar =	100000 Pa
1 mCE =	98000Pa
1 mmHg =	133 Pa
1 hPa (hectopascal) =	100 Pa

> **Solution n°8**

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1200 N/m ² |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1200 Pa |
| <input type="checkbox"/> | 1.2 Pa |
| <input type="checkbox"/> | 12 N/m ² |

- TP N°3 : Forces Hydrostatiques

III.1 Objectifs du TP N°3

- ✓ L'objectif de cette expérience est d'étudier l'effet des forces hydrostatiques exercées par un liquide sur une surface plane fixe et déterminer le centre de poussée de cette force

III.2 Test pré-requis

Objectifs

Évaluez les prérequis et déterminez le niveau de vos connaissances. Cela reste une estimation ! le volume d'heures que vous devez consacrer pourra évoluer en fonction de votre implication et de votre rythme d'apprentissage.

Exercice 1

La force hydrostatique est

- une force de viscosité
- une force de pression exercée par un fluide immobile sur une surface solide
- une force due au déplacement du fluide

[Solution n°1 p 43]

Exercice 2

[Solution n°2 p 43]

Le centre de poussée C est

- le point d'application de la force hydrostatique
- le centre de gravité de la surface

Exercice 3

[Solution n°3 p 43]

Sur une surface horizontale, la pression

- est constante
-
- n'est pas constante
-

III.3 Rappels théoriques

La force hydrostatique est une force de pression exercée par un fluide immobile sur une surface solide. La force résultante est la somme des pressions sur toute la surface de la paroi. La force hydrostatique peut être défini dans le cas général comme suit :

$$F = \iint_{S_0} P dS$$

Si la Pression est constante sur la surface :

$$F = P * S_0$$



Figure III.1 : Barrage

III.3.1 Force Hydrostatique sur une surface plane

D'après l'équation fondamentale de l'hydrostatique. La pression relative le long d'une paroi verticale varie linéairement en fonction de la hauteur : $P = \rho \cdot g \cdot h$.

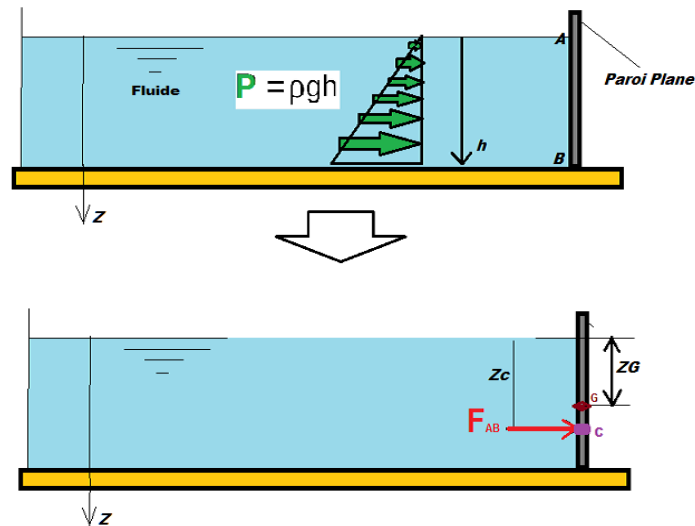


Figure III.2 : Représentation de la pression relative et de la force résultante sur une paroi plane verticale

Afin de déterminer la force hydrostatique sur une surface plane AB, il suffit de déterminer la pression moyenne P_{moy} qui se trouve au centre de gravité de la surface et la multiplier par la surface

$$F_{AB} = P_{moy} * S_{AB} = \rho_{fluide} * g * Z_{G_AB} * S_{AB}$$

Z_G est la **profondeur du centre de gravité** de la surface AB. Autrement dit, c'est la distance entre la surface libre et le centre de gravité **selon l'axe Z**.

S_{AB} est la surface mouillée par le fluide. C'est la surface réelle de la paroi même pour une surface inclinée par rapport à la verticale.

Remarque : Conditions d'applications

Puisque nous avons utilisé l'EFH pour établir l'équation ci-dessus, donc les mêmes conditions s'appliquent aussi sur cette équation :

1- Masse volumique doit être constante.

2- Fluide doit être immobile

III.3.2 Centre de poussée

Le **centre de poussée Z_c** est le point d'application de la résultante des forces de pression sur la surface solide. **Z_c est une profondeur** (distance selon l'axe Z) du centre de poussée. On peut déterminer la profondeur Z_c du centre de poussée pour des surfaces connues avec l'équation suivante :

$$Z_c = \frac{\int_S Z^2 dS}{\int_S Z dS} = Z_G + \frac{I_G}{Z_G S_X}$$

S_x est la surface projetée sur le plan vertical z-y.

I_G est le moment d'inertie de la surface projetée sur le plan vertical.

Z_G est la profondeur du **centre de gravité** de la surface.

III.3.3 Force hydrostatique sur une paroi courbée (non-plane)

La force Hydrostatique sur une surface non-plane peut être déterminée par le calcul des composantes horizontales et verticales ; $F = (F_x^2 + F_z^2)^{1/2}$

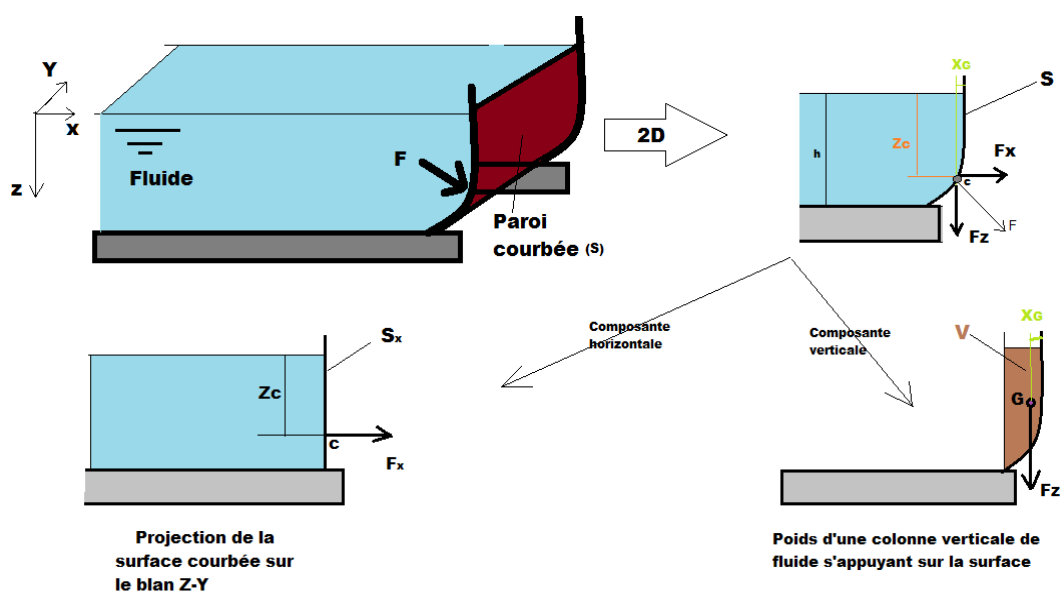


Figure III.3 : Représentation de la force de pression sur une paroi non-plane

- La composante horizontale de la force F_x est égale à la force qui s'exerce sur la projection de la surface courbée selon x :

$$F_x = \rho_{fluide} * g * Z_G * S_x$$

Pour cette composante, il faut impérativement faire la projection de la paroi réelle sur le plan vertical $Z-Y$.

Z_G et S_x sont respectivement, la profondeur du centre de gravité et la surface projetée sur le plan vertical.

La résultante F_x s'applique **au centre de pression** de la surface projetée.

- La composante verticale de la force est **égale au poids du volume de fluide contenu au-dessus de la surface courbée**, jusqu'au niveau libre. Autrement dit, F_z correspond au **poids d'une colonne verticale de fluide** qui s'appuie sur la surface considérée.

Elle s'écrit :

$$F_z = \rho_{fluide} * g * V$$

Où V est le volume de fluide situé entre la surface courbe et le niveau libre.

La composante verticale F_z s'applique **au centre de gravité du volume de fluide** contenu au-dessus de la surface courbée.

III.4 Expérimentation

III.4.1 Appareil d'étude

Cet équipement pédagogique d'étude du centre de poussée présentée dans la figure ci-dessous permet de mesurer le moment de la poussée par rapport à l'axe de rotation de la cuve. En effet, il constitue d'un assemblage en plastique transparent qui peut pivoter pour permettre aux étudiants de déterminer le centre de poussée du fluide sur une surface plane complètement ou partiellement immergée. La paroi plane peut être inclinée par rapport à la ligne verticale en se référant aux lignes horizontales affichées sur l'équipement. De plus, la hauteur manométrique de l'eau dans le réservoir en quart de cercle est lisible directement sur une échelle transparente.



Figure III.4 : Appareil didactique d'étude du centre de poussée - H11

La cuve ayant la forme d'un quart de cercle peut contenir de l'eau, ce qui permet de faire pivoter la surface plane par apport à l'axe vertical. Les axes des parois cylindriques de ce quart de cercle concordent avec le centre de rotation. La pression du fluide agissant sur ces surfaces, exerce un moment nul sur le centre de poussée de la force hydrostatique. Le moment mesuré n'est que la pression du fluide exercée sur la surface plane par apport à l'axe de rotation. Ce moment est mesuré avec des masses marquées, suspendues sur le support de chargement, montées sur le bloc semi-circulaire et ce situ sur le côté opposé au quart de cylindre. Une seconde cuve, située du même côté que le support de chargement pour faciliter l'équilibrage et permet de réaliser différents angles d'équilibrage.

L'angle de la surface plane avec la verticale peut être déterminé sur une échelle linéaire fixée au panneau arrière. La distance h' depuis la base de la paroi plane jusqu'à la surface de l'eau dans la cuve peut être déduite aussi à partir de l'échelle linéaire.

L'appareil est équipé de pieds de mise à niveau et d'un niveau à bulle. Un plateau est fourni avec l'appareil pour protéger la surface de roulement lorsque ce dernier est en dehors d'utilisation.

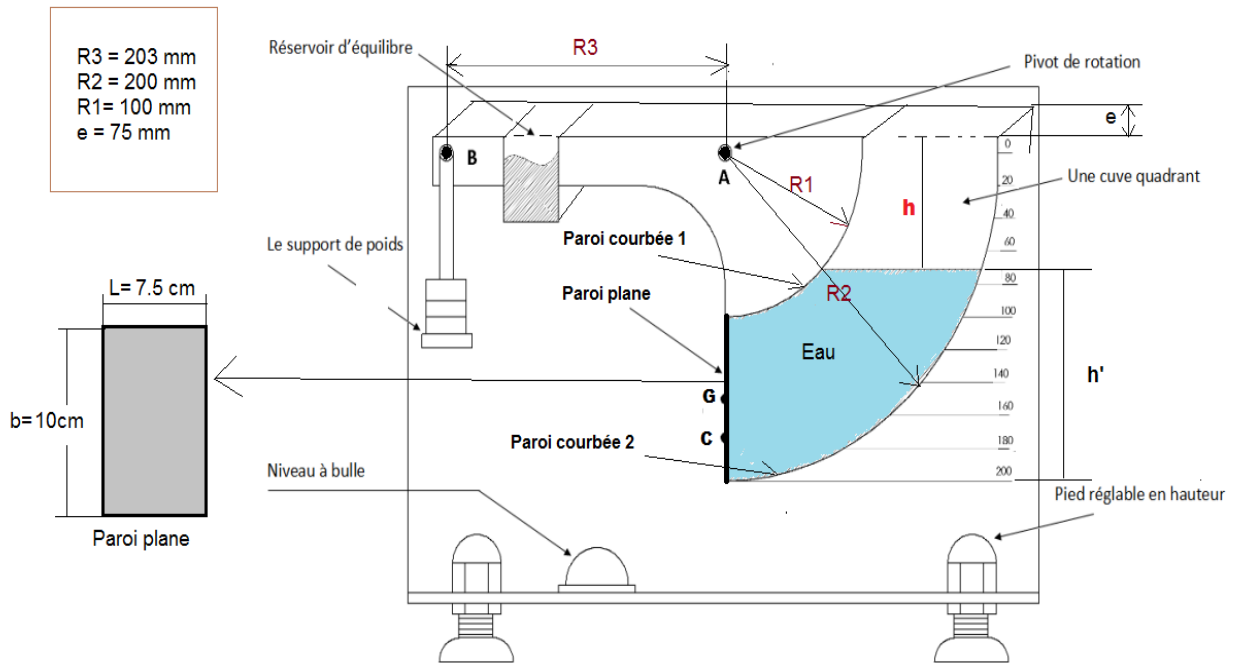


Figure III.5 : Description de l'appareil H11

III.4.2 Manipulation :

Il est indispensable de manipuler avec beaucoup de précaution la surface et les bords de roulement de la cuve lors de l'utilisation de l'appareil et de les protéger lors de son rangement.

- Assurer que la graduation du panneau arrière se met bien à niveau de sorte que la ligne zéro passe par le centre de rotation et s'aligne avec la ligne zéro .
- Réglez l'appareil horizontalement à l'aide du niveau à bulle en utilisant les pieds de réglage.
- Équilibrer l'appareil pour amener le plan immergé à l'angle θ avec la verticale, on verse doucement l'eau dans la cuve d'équilibrage, jusqu'à la position d'équilibre désirée. Le rapporteur se lit en fonction de la ligne zéro sur l'échelle graduée. Il est possible d'enlever l'excédent d'eau à l'aide de la pipette
- Accrocher une masse m_1 au support de poids
- Verser de l'eau dans le quadrant jusqu'à revenir à l'équilibre précédent
- Noter la masse et la hauteur h Répéter l'opération pour la masse m_2 .
- Refaite la même chose pour un autre angle θ

Tableau 1 : Manipulation centre de poussée

Angle θ	$\theta=0$		$\theta=10$		$\theta=20$	
Masse m (g)	-	-	-	-	-	-
hauteur h (mm)	-	-	-	-	-	-

III.4.3 Travail demandé

Questions :

- Dans chaque cas, tracer l'épure de pression relative pour la paroi plane (feuille 1), la paroi courbée 1 et la paroi courbée 2 (feuille 2).
- Pour les deux masses utilisées, et pour chaque angle d'inclinaison de la paroi, calculer la force qui s'exerce sur la paroi plane.
- Dans chaque cas, trouver la position du centre de poussée de la paroi plane par rapport à o.
- Pour chaque cas, représenter les vecteurs force sur la paroi plane (feuille 1).
- Pour la grande masse utilisée, et pour chaque angle θ , calculer les forces F_x et F_z qui s'exercent sur la paroi courbée 1 et la paroi courbée 2.
- Pour la grande masse utilisée, calculer les forces résultantes F_1 et F_2 sur les parois courbées 1 et 2.
- Pour la grande masse utilisée, représenter tous les vecteurs force sur les paroi courbées 1 et 2 (feuille 2). Déduire le centre de poussée

III.5 Test de sortie

Exercice 3

Sur une surface horizontale d'un fluide au repos, la pression

- est constante
-
- n'est pas constata

[Solution n°3 p 43]

Exercice 4

le Z_G est

- la profondeur du centre de gravité
- le centre de gravité de la surface
- profondeur du centre de poussée

[Solution n°4 p 43]

Exercice 5

La force hydrostatique sur une surface non-plane peut être déterminer par :

- $F = (F_x^2 + F_z^2)^{1/2}$
- $F = (F_x^2 - F_z^2)^{1/2}$

[Solution n°5 p 43]

III.6 Compte rendu

Veillez remettre un compte rendu sur les manipulations effectuées. ?

Le sous-groupe doit décrire d'une manière très claire et originale toutes les manipulations. Le compte rendu de travaux pratiques est un rapport manuscrit détaillant l'ensemble des manipulations qui se sont déroulés lors des TP. Il sert d'une part à vérifier les connaissances acquises et de l'autre, à renforcer votre façon de présentations. Ainsi, avoir un compte rendu bien rédigé, original et bien présenté est essentiel pour une bonne note de TP.

Remarque

Respecter les échelles suivantes dans vos réponses :

Échelle des distances : 1cm => 4cm

Échelle des pressions : 1cm =>1000N/m²

Échelle des forces : 1cm => 5N

III.7 Solutions des exercices

> Solution n°1

- | | |
|----------------------------------|--|
| <input type="radio"/> | une force de viscosité |
| <input checked="" type="radio"/> | une force de pression exercée par un fluide immobile sur une surface solide. |
| <input type="radio"/> | une force due au déplacement du fluide |

> Solution n°2

- | | |
|----------------------------------|--|
| <input checked="" type="radio"/> | le point d'application de la force hydrostatique |
| <input type="radio"/> | le centre de gravité de la surface |

> Solution n°3

- | | |
|----------------------------------|---------------------|
| <input checked="" type="radio"/> | est constante |
| <input type="radio"/> | n'est pas constante |

> Solution n°4

- | | |
|----------------------------------|------------------------------------|
| <input checked="" type="radio"/> | la profondeur du centre de gravité |
| <input type="radio"/> | le centre de gravité de la surface |
| <input type="radio"/> | profondeur du centre de poussée |

> Solution n°5

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------|
| <input checked="" type="radio"/> | $F = (F_x^2 + F_z^2)^{1/2}$ |
| <input type="radio"/> | $F = (F_x^2 - F_z^2)^{1/2}$ |

TP N°4 : Dynamique des fluides parfaits

IV.1 Objectif du TP N°4

L'objectif de ce TP est d'étudier expérimentalement l'effet Venturi dans un écoulement à surface libre, en observant la relation entre la vitesse du fluide et la hauteur d'eau. Les objectifs spécifiques sont :

- Vérifier la relation de Bernoulli appliquée à un écoulement à surface libre.
- Mettre en évidence la variation de vitesse entre les sections du Venturi.
- Calculer le débit volumique et le coefficient de décharge du tube de Venturi.

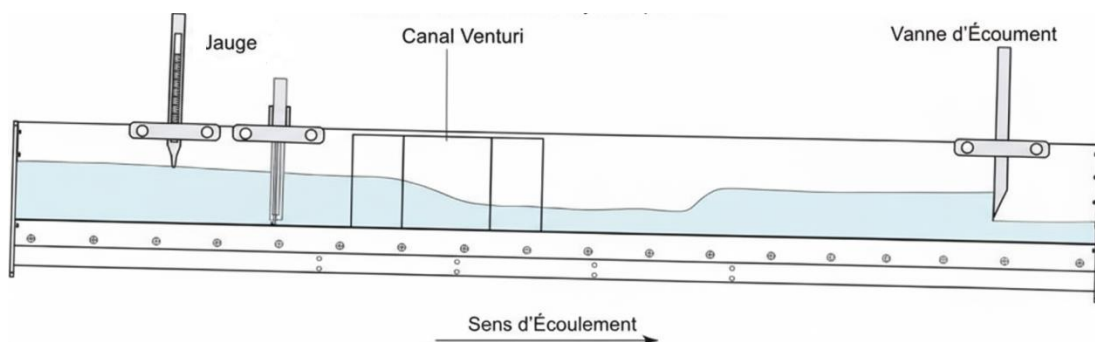


Figure IV.1 : Représentation du tube de venturi

IV.2 Partie théorique

IV.2.1. Fluide parfait

Un fluide est dit parfait si sa viscosité est nulle ($\mu = 0$)

En toute rigueur aucun fluide n'est parfait, cependant cette hypothèse simplificatrice est admissible si :

- ❖ La vitesse de l'écoulement est faible
- ❖ La viscosité du fluide est faible

IV.2.2 Équation de Bernoulli

Reprenons l'équation d'Euler et simplifions-la en faisant quelques hypothèses :

$$\rho \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \frac{1}{2} \overrightarrow{\text{grad}} V^2 + \overrightarrow{\text{rot}}(\vec{V}) \wedge \vec{V} = (-\overrightarrow{\text{grad}}(p) + \rho \vec{g})$$

Rappelons aussi que pour établir cette équation nous avons supposé que le cadre de la mécanique newtonienne est applicable et que le fluide est parfait. Nous allons maintenant ajouter d'autres hypothèses :

Ecoulement permanent ($\partial V / \partial t = 0$).

Référentiel galiléen (pas de force d'inertie).

Fluide incompressible (ρ constante).

Seul le poids s'applique sur la particule fluide. Prenons un axe z orienté selon la verticale ascendante et écrivons alors que la densité volumique de force est égale à $-\rho g \cdot \vec{k}$. L'équation d'Euler s'écrit alors :

$$\rho \left(\frac{1}{2} \overrightarrow{\text{grad}} V^2 + \overrightarrow{\text{rot}} \vec{V} \wedge \vec{V} \right) = (-\overrightarrow{\text{grad}}(p) - \rho g \vec{k}) \dots \text{(II. 14)}$$

Puisque le fluide est incompressible, nous pouvons intégrer ρ dans le gradient, ce qui donne :

$$\overrightarrow{\text{grad}} \left(\rho \frac{V^2}{2} \right) + \rho \overrightarrow{\text{rot}} \vec{V} \wedge \vec{V} + \overrightarrow{\text{grad}}(p) + \rho g \vec{k} = 0$$

De plus, nous pouvons écrire que : $\rho g \vec{k} = \rho \overrightarrow{\text{grad}}(gz)$

Nous arrivons alors à :

$$\overrightarrow{\text{grad}} \left(p + \rho gz + \rho \frac{V^2}{2} \right) + \rho \overrightarrow{\text{rot}} \vec{V} \wedge \vec{V} = 0$$

Ou encore : $\overrightarrow{\text{grad}} \left(p + \rho gz + \rho \frac{V^2}{2} \right) = \rho \vec{V} \wedge \overrightarrow{\text{rot}} \vec{V} = 0$

Si on fait aussi l'hypothèse d'un écoulement irrotationnel ($\text{rot } \vec{V} = 0$). L'équation précédente se simplifie :

$$\overrightarrow{\text{grad}} \left(p + \rho gz + \rho \frac{V^2}{2} \right) = 0$$

Ce qui donne :

$$p + \rho gz + \rho \frac{v^2}{2} = Cst = Pt$$

Ce résultat très important en mécanique des fluides est désigné par « Relation de Bernoulli ». Pt est appelée pression totale ou charge totale. Elle renferme un terme dit pression motrice (génère le mouvement) et un terme cinétique résultat du mouvement.

Remarque :

Si les hypothèses que nous allons rappeler sont vérifiées, la quantité : $p + \rho gz + \rho \frac{v^2}{2}$ est constante le long d'une ligne de courant.

❖ **Hypothèses :**

Fluide parfait.

Ecoulement permanent.

Référentiel galiléen.

Fluide incompressible.

Seul le poids s'applique sur la particule fluide.

Si l'écoulement est irrotationnel, cette quantité est constante partout dans le fluide. - En conservant ces hypothèses et en annulant la vitesse, nous retrouvons la relation fondamentale de la statique des fluides.

Pour un fluide parfait, incompressible et en régime permanent, l'équation de Bernoulli en hauteur s'écrit comme suit :

$$P/\rho g + v^2/2g + z = constante$$

Dans un écoulement horizontal à surface libre, on suppose que la pression égale à la pression atmosphérique sur chaque section :

$$P_1 = P_2 = Patm, \text{ et donc dans la différence de pression s'annule.}$$

L'équation devient alors :

$$z_1 + v_1^2/2g = z_2 + v_2^2/2g$$

Ainsi, quand la vitesse augmente (section plus petite), la hauteur d'eau diminue (c'est l'effet Venturi)

IV.2.3 Conservation du débit massique (continuité)

Pour un fluide incompressible : $Q_v = S v = \text{constante}$.

Ainsi : $S_1 v_1 = S_2 v_2$

donc $v_2 = v_1 (S_1/S_2)$

IV.2.4 Relation entre vitesse et hauteur d'eau

En combinant Bernoulli et la continuité :

$$z_1 - z_2 = (v_2^2 - v_1^2)/2g.$$

Si les hauteurs z_1 et z_2 sont mesurées avec les tubes de niveau, on obtient :

$$v = \sqrt{2g(h_0 - h)}.$$

IV.2.5 L'Effet Venturi

L'effet Venturi est un phénomène physique qui décrit la réduction de la pression d'un fluide lorsqu'il traverse une section rétrécie d'un conduit. Ce phénomène est une conséquence directe du principe de Bernoulli et de la conservation de la masse.

Lorsqu'un fluide s'écoule à travers un rétrécissement (col du Venturi), la conservation du débit impose une augmentation de la vitesse d'écoulement. Selon le principe de Bernoulli, cette augmentation de vitesse s'accompagne d'une diminution de la pression statique.

IV.3 Expérimentation

IV.3.1 Appareil d'étude

Le canal d'écoulement et de transport sédimentaire utilisé est un dispositif expérimental de 80 mm de large et de 2,5 mètres de long, accompagné d'un kit didactique comprenant différentes maquettes et instruments de mesure. Il permet aux étudiants d'étudier les phénomènes de transport sédimentaire, la dynamique du lit, ainsi que le comportement de l'écoulement autour des déversoirs, seuils et autres obstacles placés dans un canal à surface libre.

L'expérience a été réalisée à l'aide du banc didactique FC80 de la marque TecQuipment, spécialement conçu pour l'étude expérimentale des écoulements hydrauliques. Le montage comprend notamment une paire de parois de Venturi, installée dans le canal afin de réduire progressivement la section de passage du fluide. Cette contraction provoque une accélération de l'écoulement et une diminution correspondante de la hauteur d'eau, conformément au principe de Bernoulli et à l'équation de continuité.

Le principe de fonctionnement du dispositif repose sur la circulation d'eau en boucle fermée : une pompe alimente le canal en eau depuis un réservoir inférieur, tandis que le panneau de contrôle FC80i permet de régler le débit et d'en afficher la valeur en litres par seconde (L/s) ou litres par minute (L/min).

Les variations de la hauteur d'eau le long du canal sont mesurées à l'aide de tubes de niveau (level gauges), permettant de visualiser la distribution de pression et de vérifier la relation entre vitesse et hauteur d'écoulement.

Ce dispositif offre ainsi une approche expérimentale complète pour comprendre les lois fondamentales de l'hydraulique à surface libre, notamment la continuité du débit, la conservation de l'énergie, et les effets du transport sédimentaire sur le profil du lit du canal.



Figure IV.2 : Banc d'essai FC80

Paire de parois de Venturi

Les parois de Venturi s'ajustent contre les bords intérieurs du canal, directement en vis-à-vis l'une de l'autre. Elles adhèrent aux parois mouillées du canal par tension de surface, frottement et gravité.

Ce dispositif permet de réduire la section de 3 cm uniformisent dans le canal, à travers laquelle on peut observer la variation de la vitesse d'écoulement du fluide.

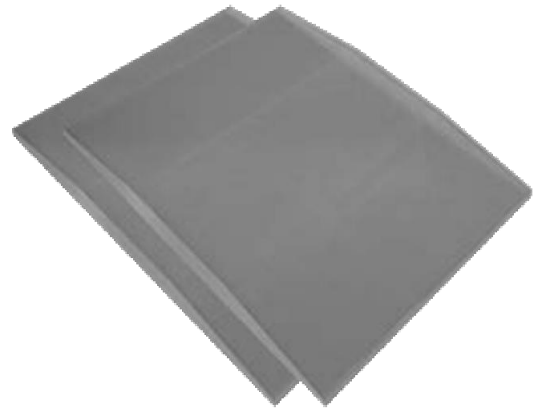


Figure IV.3 : Paire de parois de Venturi

IV.3.2 Mesure expérimentale des grandeurs

- ❖ La hauteur de l'eau en une section donnée peut être mesurer par le tube de niveau :



Figure IV.4 : Tube de niveau ou de profondeur

- ❖ La vitesse moyenne dans une section peut être déterminer par le tube de Pitot :

$$q = \rho g(h_t - h_s), v = \sqrt{(2g(h_t - h_s))}$$

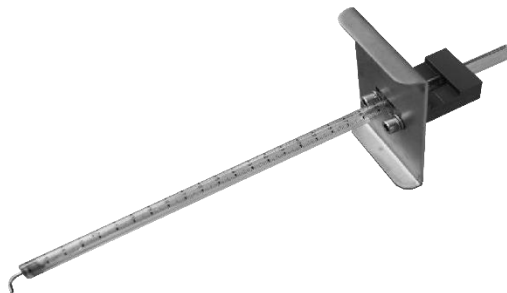


Figure IV.5 : Tube de Pitot

- ❖ Panneau de contrôle FC80 permet la commande et la surveillance du débit d'eau circulant dans le canal d'étude. Il est constitué d'un ensemble de boutons de commande et d'un afficheur numérique facilitant l'utilisation du banc expérimental.

Éléments du panneau :

- ❖ Bouton “PUMP ON” (vert) : permet la mise en marche de la pompe et l’alimentation en eau du canal.
- ❖ Bouton “PUMP OFF” (rouge) : assure l’arrêt immédiat de la pompe.
- ❖ Bouton “ANCILLARY POWER” (gris) : active l’alimentation des dispositifs auxiliaires (modules complémentaires ou accessoires optionnels).
- ❖ Afficheur numérique : indique le débit volumique de l’écoulement, exprimé en litres par seconde (L/s) ou en litres par minute (L/min).

NB : Pour contrôler le débit, il suffit d’ouvrir ou de fermer la vanne.

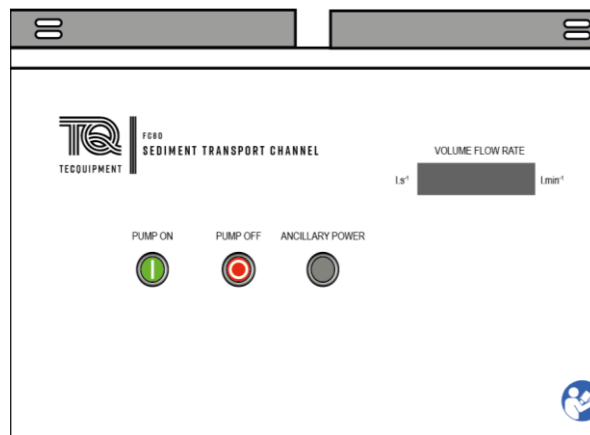


Figure IV.6 : Panneau de contrôle et d’affichage du FC80

IV.3.3 Manipulation expérimentale

- ❖ Mise en route
- ✓ Mettre en marche la pompe du banc FC80.
- ✓ Régler un débit faible à l’aide de la vanne de régulation.
- ✓ Attendre la stabilisation du niveau d’eau
- ✓ Placer les deux plaques de venturi au milieu du canal
- ✓ Mesurer les hauteurs y_1 , y_c et y_2 à l’aide du tube de profondeur
- ✓ Mesurer les hauteurs dynamiques (E_1 , E_c et E_2) aux points 1, c et 2 à l’aide du tube de Pitot

Tableau 1 : Noter toutes les mesures dans un tableau similaire à celui-ci :

	Y_1 (mm)	Y_c (mm)	Y_2 (mm)	E_1 (mm)	E_c (mm)	E_2 (mm)	Q_v (l/s)
Faible							0.6
Moyen							1.6
Fort							2.4

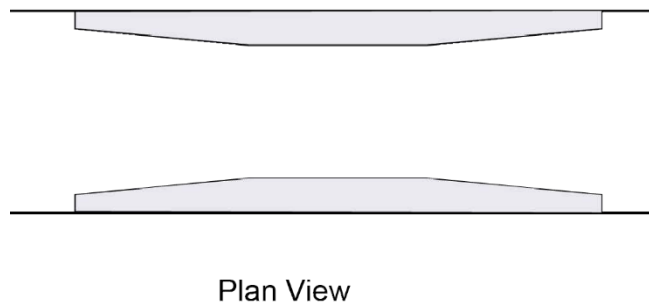
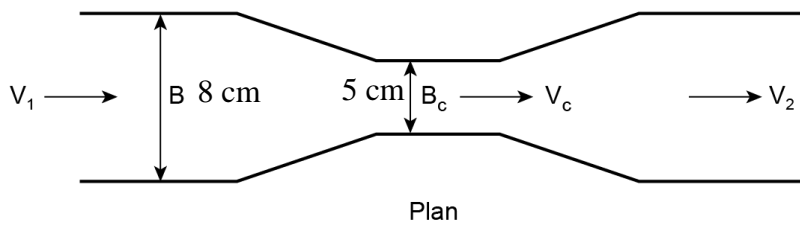
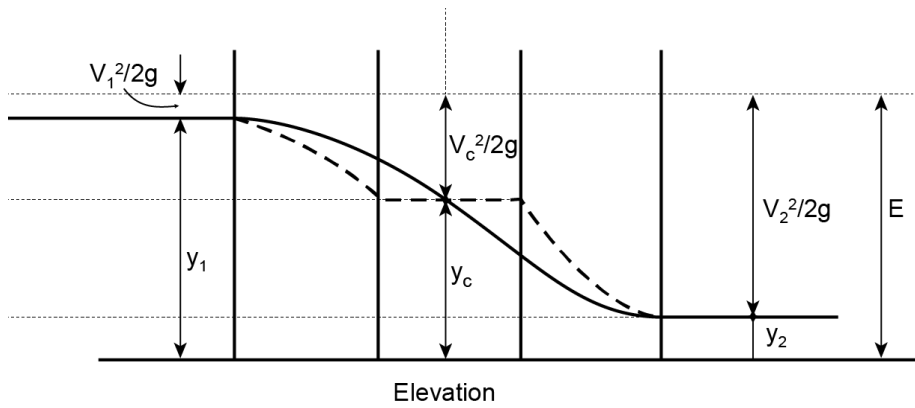


Figure IV.7 : Schéma technique de la manipulation

IV.3.4 Travail demandé

Pour chaque débit mesuré, effectuer les calculs suivants :

- ❖ Calculer avec la conservation de masse la vitesse du fluide dans les sections 1 , c et 2 du canal
- ❖ Calculer les vitesses à partir des mesures du tube de Pitot dans les sections 1 , c et 2 du canal
- ❖ Calculer les débits volumiques dans les sections c et 2 du canal avec la vitesse calculer par l'équation de Bernoulli (mesures du tube de Pitot).
- ❖ Commenter les résultats obtenus

Tableau 2 : Comparaison des vitesses et débits

Débit	V2 (m/s)	Vc (m/s)	Écart %	Qv (L/s)	Q2 (l/s)	Qc (l/s)	Écart %
Faible							
Moyen							
Fort							

IV.4 Compte rendu

Chaque sous-groupe doit remettre un compte rendu portant sur les manipulations réalisées durant la séance de travaux pratiques. Le compte rendu doit décrire de manière claire, structurée et originale l'ensemble des étapes expérimentales effectuées, les observations, ainsi que les résultats obtenus.

Ce document manuscrit constitue un rapport détaillé des manipulations effectuées. Il permet, d'une part, de vérifier la compréhension et l'acquisition des connaissances, et d'autre part, de développer les compétences de présentation et de rédaction scientifique.

Un compte rendu soigné, complet et bien présenté est donc essentiel pour l'évaluation et l'obtention d'une bonne note de TP.

Références bibliographiques

J. Mathieu and J. Scott, *Mécanique des fluides*, Paris: Masson, 1992.

Y. A. Çengel and J. M. Cimbala, *Mécanique des fluides*, Bruxelles: De Boeck Supérieur, 2017.

D. Dupuis, *Mesure de la viscosité – Viscosimètres et rhéomètres*, Techniques de l'ingénieur, 2008.

F. Moisy, *Mécanique des fluides – Cours et exercices corrigés*, Paris: Dunod, 2010.

F. M. White, *Fluid Mechanics*, 8th ed., New York: McGraw-Hill, 2016.

B. R. Munson, D. F. Young, and T. H. Okiishi, *Fundamentals of Fluid Mechanics*, 7th ed., Hoboken, NJ: Wiley, 2013.

P. Chassaing, *Mécanique des fluides appliquée*, Toulouse: Cépaduès, 2001.

EPFL, « Viscosité d'un liquide », Support de TP, École polytechnique fédérale de Lausanne

F. Moisy, *Mécanique des fluides – Cours et exercices corrigés*, Paris: Dunod, 2010.

F. M. White, *Fluid Mechanics*, 8th ed., New York: McGraw-Hill, 2016.

B. R. Munson, D. F. Young, and T. H. Okiishi, *Fundamentals of Fluid Mechanics*, 7th ed., Hoboken, NJ: Wiley, 2013.