

# Loi de la pression hydrostatique<sup>1</sup>

Godts Philippe

## Contexte de l'expérience

La plupart des montages expérimentaux concernant la loi de la pression hydrostatique se basent sur l'utilisation d'une sonde à membrane raccordée à un manomètre à tube en U au moyen d'un tuyau flexible.

Cette manière de faire pose un problème de logique qui peut perturber la plupart des élèves : La lecture de la pression par l'interprétation de la différence des niveaux du liquide atteint dans les deux branches du tube en U se base sur la loi de la pression hydrostatique que le montage est sensé mettre en évidence. On veut donc que les élèves vérifient cette loi... en la supposant déjà connue.

De plus, la déformation de la membrane utilisée de la sonde est rarement proportionnelle à la pression exercée, et cela n'est tout au plus le cas que pour une plage de mesure réduite.

Le montage proposé dans cette expérience se base sur la pression subie par un obturateur refermant une extrémité d'un cylindre creux plongé dans un liquide. Cette manière de faire comporte plusieurs avantages :

- L'élève réinvesti dans un nouveau contexte des lois déjà connues (loi de l'équilibre d'un objet soumis à deux forces, loi de la pression  $p = F/S$ , relation poids-masse  $G = m.g$ ).
- L'élève peut calculer les valeurs de la pression par quelques calculs simples.
- L'élève ressent lui-même l'effet de la pression quand il enfonce le cylindre dans le liquide.
- L'élève doit faire preuve de soin en menant l'expérience, et acquiert une perception des erreurs de mesure.

Cette expérience fait donc appel à différentes habiletés, permet la différenciation pédagogique, et procure des apprentissages plus durables. A contrario, elle est un peu plus difficile à mener que l'expérience classique, et ne convient pas pour mettre la non-influence de l'orientation de la surface en évidence.

## Objectifs d'apprentissage

Déterminer les paramètres influençant la valeur de la pression hydrostatique dans le cas d'un fluide non-confiné, quantifier cette influence le cas échéant.

## Matériel suggéré

Cylindres creux de différents diamètres<sup>2</sup> munis d'une toise permettant de mesurer la profondeur d'immersion des cylindres dans le liquide, obturateur<sup>3</sup> muni d'une ficelle, lests percés d'un trou et pouvant entrer dans le cylindre<sup>4</sup>, balance de ménage, pied à coulisse, récipient, eau.

<sup>1</sup> Voir la fiche originale : <http://lenseignement.catholique.be/fesec/secteurs/sciences/?p=2693> , d'après une idée de Philippe Godts et Dominique Waterloo.

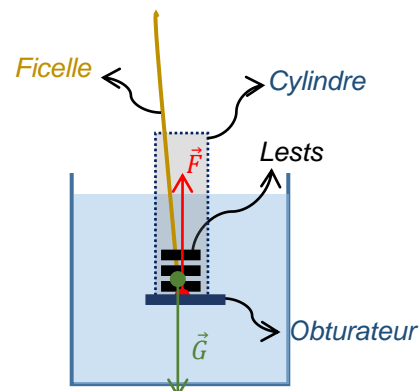
<sup>2</sup> On peut utiliser un morceau de tuyau d'un diamètre de 40 mm ou plus, dont une des extrémités présente une coupe nette, ou une boîte de conserve évidée. On peut améliorer la netteté de la coupe en frottant le cylindre sur des papiers émeri posés à plat sur une table et en utilisant des grains de plus en plus fins.

<sup>3</sup> L'obturateur doit être idéalement conçu dans un matériau de masse volumique semblable à celle de l'eau (polycarbonate, plexiglas, PVC...) et assurer une étanchéité optimale sans toutefois adhérer avec une des bases de chaque cylindre. On obtient d'assez bons résultats avec des couvercles de pochettes de CDs. Faire un trou au centre de l'obturateur au moyen d'un clou chauffé, y faire passer une extrémité de la ficelle, et refermer à l'aide d'un pistolet à colle.

<sup>4</sup> Il peut s'agir de masses fendues fournies par les firmes de matériel didactique, ou de boulons, rondelles...

### Procédure

1. Ajuster l'obturateur à une des extrémités du cylindre, de telle manière que la ficelle passe dans le cylindre, et immerger cette extrémité dans le récipient rempli d'eau tout en tirant sur la ficelle. Relâcher ensuite la ficelle.
2. Ressortir le cylindre et l'obturateur de l'eau. Déposer des lestés sur l'obturateur et déterminer le poids  $G$  de l'ensemble obturateur-lestés. Replacer le cylindre sur l'obturateur et immerger l'ensemble jusqu'à la profondeur maximale tout en tirant sur la ficelle. Relâcher la ficelle, puis remonter lentement le cylindre et relever la profondeur d'immersion  $h$  à laquelle l'obturateur se détache du cylindre.
3. Recommencer plusieurs fois l'expérience en modifiant le lest. Mesurer ensuite le diamètre extérieur du cylindre et en déduire sa section  $A$ .
4. Prendre des cylindres de sections différentes et rechercher la valeur du lest à poser sur l'obturateur pour qu'il se décolle à une profondeur d'immersion donnée.



### Remarque pour le professeur

Quand on remonte lentement le cylindre immergé, au moment précis où l'obturateur se détache, on peut considérer que ce dernier ne subit plus que deux forces : le poids  $\vec{G}$  de l'ensemble lest-obturateur dirigé vers le bas et la force  $\vec{F}$  de pression de l'eau sur l'obturateur dirigée vers le haut.<sup>5</sup> A ce moment, ces deux forces s'équilibrent et  $F = G$ .

Notons qu'en réalité, on devrait tenir compte de la poussée d'Archimède subie par l'obturateur. Mais d'autres facteurs d'erreur sont bien plus importants : de l'eau peut déjà pénétrer dans le cylindre avant le détachement de l'obturateur, la lecture de la profondeur d'immersion est assez imprécise...

En calculant le quotient de la force de pression par la section, on obtient la valeur réelle de la pression (relative à la pression atmosphérique) :  $p = \frac{F}{A}$ .

Pour étudier l'influence de l'orientation de la surface, on peut tenter de légèrement incliner le cylindre.

### Présentation des résultats

Etude de l'influence de la profondeur (à section constante).  $A = \dots$

$h_{(m)}$	$F_{(N)}$	$p_{(Pa)}$	$p/h_{(Pa/m)}$
...			

On pourra utilement compléter ce tableau par un graphe de la pression en fonction de la profondeur. (La force pression, et donc la pression, sont directement proportionnelles avec la profondeur)

Etude de l'influence de la section (à profondeur d'immersion constante).  $h = \dots$

$A_{(m^2)}$	$F_{(N)}$	$p_{(Pa)}$

On pourra utilement compléter ce tableau par un graphe de la force de pression en fonction de la section. (La force de pression est quasi-directement proportionnelle à la section : la section n'a normalement pas d'influence sur la pression)

<sup>5</sup> Il s'agit en réalité de la résultante des forces de pression s'exerçant sur la paroi inférieure et la paroi supérieure de l'obturateur. Mais ces forces s'équilibrent partout, sauf sur la portion de l'obturateur correspondant à la section du cylindre. On peut donc dire que la force de pression (résultante) de l'eau s'exerce vers le haut sur une surface dont l'aire  $A$  correspond à la section du cylindre.

### *Variantes*

- A. Si on dispose d'un capteur de force (relié à un PC), on peut l'utiliser pour pousser sur l'obturateur vers le bas par l'intermédiaire d'une tige légère passant par l'intérieur du cylindre. La valeur maximale de la force enregistrée correspond à la force de pression.
- B. Pour montrer l'indépendance de l'orientation de la surface, on peut utiliser une capsule manométrique classique reliée à un tube en U. On observe les variations du niveau de l'eau dans le tube en U quand on agit avec le doigt sur la capsule, puis quand on la plonge dans différents liquides, à différentes profondeurs, et dans différentes orientations.
- C. On peut aussi directement utiliser un capteur de pression relié à un manomètre, ou un PC.
- D. On peut effectuer des observations qualitatives en enfonçant dans l'eau un cylindre fermé en ses extrémités par des morceaux de ballon de baudruche, et possédant une ouverture latérale reliée à un tuyau flexible communiquant avec l'air extérieur. Cette expérience permet d'interpréter la poussée d'Archimède en termes des différences de pression régnant entre la surface inférieure et la surface supérieure d'un solide plongé dans un liquide.
- E. On peut aussi simplement immerger une bouteille percée de trous à différentes hauteurs...

### *Pour aller plus loin*

- A. Etudier le paradoxe hydrostatique à l'aide du morceau de tube du point D ci-dessus : remplir l'intérieur du tube progressivement d'eau par le tuyau tenu à faible hauteur, puis monter progressivement l'extrémité libre du tuyau tout en observant la forme des morceaux de ballon de baudruche.
- B. Etudier les vases communicants à l'aide de deux seringues reliées l'une à l'autre au moyen d'un tuyau souple assez long. Vérifier l'horizontalité du pavement de la classe ou d'un banc au moyen de ce système.
- C. Utiliser un manomètre à tube en U pour comparer la pression régnant dans un gaz confiné par rapport à la pression atmosphérique.