

Chapitre 1 – Poussée d'Archimède et écoulement d'un fluide

Activité 1 - Ça ne flotte pas, mais ça pourrait

Archimède de Syracuse est considéré comme le plus grand mathématicien de l'Antiquité. Entre autres découvertes, on lui doit celle du critère permettant de prévoir si un corps immergé dans un liquide flotte ou coule. Ce critère repose sur l'existence d'une force verticale et vers le haut, exercée par le fluide sur l'objet immergé, aujourd'hui appelée poussée d'Archimède et généralement notée $\vec{\Pi}$. Cette activité a pour but de se donner les moyens de mesurer cette force.

Un dynamomètre est un appareil permettant de mesurer la force exercée sur son extrémité.

1. Se munir d'un cylindre métallique et le suspendre à un dynamomètre. Noter la valeur de la force exercée par le cylindre sur le dynamomètre (on appelle cette force la tension $\vec{T}$ du ressort).
2. En utilisant la troisième loi de Newton, donner la valeur de la force exercée par le dynamomètre sur le cylindre. Représenter cette force sur un schéma.
3. En utilisant le principe d'inertie au cylindre, justifier que la valeur affichée par le dynamomètre est ici le poids du cylindre.
4. Mesurer la valeur de la tension $\vec{T}'$ lorsque ce même objet est suspendu au dynamomètre mais entièrement immergé dans l'eau.
5. Faire un schéma du système avec les forces qui s'exercent sur lui (sans souci d'échelle).
6. Dédire de ces deux mesures la valeur Π de la poussée d'Archimède exercée par l'eau sur le cylindre métallique. Reprendre le schéma de la question précédente et le corriger en prenant en compte les résultats et en adoptant une échelle pour la représentation des forces.



Activité 2 - De quoi dépend la poussée d'Archimède ?

Cette activité vise à déterminer les paramètres dont dépend la valeur de la poussée d'Archimède, puis à vérifier l'expression connue pour cette force.

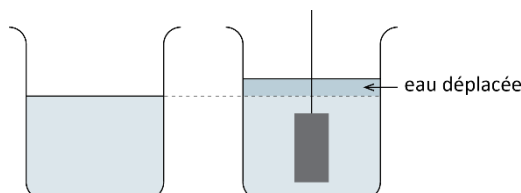
1. D'après vos souvenirs, indiquer les paramètres qui pourraient faire varier la poussée d'Archimède subie par un système.
2. Proposer le protocole d'une expérience permettant de vérifier cette hypothèse en utilisant le matériel à disposition : dynamomètre, cylindres de même volume mais de masses différentes, objets de même masse mais de volumes différents, eau, éthanol, glycérol, bécher de 100 mL, éprouvette de 100 mL, balance, règle.

Appeler l'enseignant pour lui faire vérifier votre protocole

3. Étudier le paramètre que l'enseignant vous a attribué, réaliser l'expérience et compléter le fichier partagé.
4. Conclure sur les paramètres d'influence.

Le théorème d'Archimède, reformulé en langage contemporain, s'énonce :

« Tout corps plongé dans un fluide subit de la part de ce dernier une poussée verticale, vers le haut, de valeur égale au poids du fluide déplacé. »



5. Exploiter ce théorème pour exprimer Π en fonction de ρ_{fluide} (masse volumique du fluide), V (volume immergé du solide) et g (champ de pesanteur). Vérifier sans calcul que la relation obtenue est en accord avec les expérimentations précédentes.

Lire le paragraphe A-1 du modèle

Activité 3 – Si ça fond, la mer monte ?

On considère un glaçon de volume V_g , de masse volumique ρ_g qui fond dans un verre d'eau de masse volumique ρ_e .

Cherchons dans un premier temps l'expression du volume du glaçon V_{gi} qui est effectivement immergé.

1. Faire un schéma d'un glaçon qui flotte dans un verre d'eau.
2. Indiquer sur le schéma les forces qui s'exercent sur le glaçon.
3. Exprimer ces forces en fonction d'une ou plusieurs grandeurs citées ci-après : la masse volumique de la glace ρ_g , la masse volumique de l'eau liquide ρ_e , l'accélération de pesanteur g , le volume du glaçon V_g et le volume immergé du glaçon V_{gi} .
4. Appliquer la deuxième de Newton au système {glaçon} et montrer que $V_{gi} = \frac{\rho_g}{\rho_e} \times V_g$.

Cherchons dans un second temps le volume d'eau libéré V_{el} par la fonte du glaçon.

5. Exprimer V_{el} en fonction de V_g et ρ_e .

Conclusion :

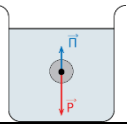
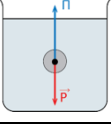
6. Comparer les deux valeurs V_{gi} et V_{el} .
7. Le niveau de l'eau monte-il lors de la fonte du glaçon ? Est-ce que ce calcul permet d'expliquer la montée des eaux sur Terre ?

Pour aller plus loin...

Compléter le paragraphe ci-dessous sur la flottaison des objets.

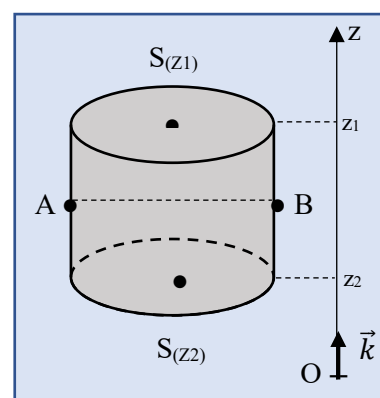
Considérons un solide totalement immergé dans un liquide. Il est soumis à deux forces :

- son poids $\vec{P}$, vertical, vers le bas, de valeur : $P = mg = \rho_{\text{solide}} V g$
- la poussée d'Archimède exercée par le fluide, verticale, vers le haut et de valeur : $\Pi = \rho_{\text{fluide}} V g$

Si le solide est plus dense que le fluide	Si le solide est moins dense que le fluide
	
$\rho_{\text{solide}} > \rho_{\text{fluide}}$ donc $P > \Pi$: le solide coule.	$\rho_{\text{fluide}} > \rho_{\text{solide}}$ donc $P < \Pi$: le solide remonte à la surface. Le volume immergé diminue jusqu'à atteindre l'équilibre $\Pi = P$: le solide flotte.

Activité 4 - Comment expliquer la poussée d'Archimède ?

On considère un solide cylindrique de volume V , de sections circulaires horizontales de même aire S situées aux altitudes z_1 et z_2 et de hauteur $h = z_1 - z_2$ comme schématisé ci-contre. Ce solide est totalement immergé dans un fluide de masse volumique ρ_{fluide} .



1. En utilisant les rappels du modèle, indiquer comment évolue la valeur de la pression $P_{(z)}$ au sein du fluide dans un plan horizontal d'altitude z . Même question concernant la valeur de la force pressante $\vec{F}$ s'exerçant sur le solide de la part du fluide.
2. Sachant que la perpendiculaire à une surface cylindrique est dirigée suivant le rayon de celui-ci, représenter les forces pressantes exercées par le fluide sur le cylindre au niveau des deux points A et B situés sur un même diamètre de la surface latérale du cylindre. En déduire les caractéristiques de la somme de ces deux forces puis de la somme de l'ensemble des forces pressantes s'exerçant sur la paroi latérale du cylindre.
3. Représenter aux points $S_{(z1)}$ et $S_{(z2)}$ les forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ exercées par le fluide au niveau des sections circulaires horizontales d'aire S et donner leurs expressions vectorielles en fonction de S , des pressions P_1 et P_2 aux altitudes z_1 et z_2 et du vecteur unitaire $\vec{k}$.

La somme des forces de pression exercées par le fluide sur le solide qui y est plongé est la poussée d'Archimède $\vec{\Pi}$ du fluide sur le solide.

4. Établir une expression vectorielle de la poussée d'Archimède en fonction de ρ_{fluide} , z_1 et z_2 , S , g et $\vec{k}$ puis de ρ_{fluide} , V et $\vec{g}$ puis vérifier la validité de l'expression obtenue à l'aide du modèle.

Lire l'ensemble du paragraphe A du modèle

Activité 5 : Arrosons notre jardin

Lire les paragraphes B et C1 du modèle

On étudie l'écoulement de l'eau dans un tuyau d'arrosage relié au robinet d'une habitation. On souhaite notamment déterminer, **en régime permanent**, le débit volumique dans ce tuyau. Dans une habitation, le compteur d'eau permet de lire le volume d'eau écoulé (en m^3) dans tous les robinets de la maison depuis la construction de l'habitation.

1. Dessiner le tuyau d'arrosage (horizontal et de section constante S). Indiquer sur le dessin, la surface constante la plus simple pour étudier et mesurer le débit volumique. On parlera de *surface de contrôle*.
2. Proposer alors un protocole expérimental qui permettrait de déterminer le débit volumique de l'eau dans le tuyau d'arrosage de l'habitation.

Dans l'hypothèse du fluide parfait, on peut considérer que le champ de vitesse d'écoulement du fluide est uniforme dans le tuyau et égal à $\vec{v}$.

3. Représenter le vecteur vitesse de l'écoulement en différents points, et notamment en différents points de la surface de contrôle.
4. Exprimer la distance parcourue en moyenne par l'eau dans le tuyau du sur une durée Δt . En déduire le volume V d'eau qui traversera la surface de contrôle pendant la durée Δt sur la figure. Hachurer cette zone.
5. Exprimer V en fonction de S , v et Δt en s'aidant du schéma.
6. En déduire que le débit volumique s'exprime aussi $D_V = v \times S$.

Lire les paragraphes C2 et C3 du modèle

7. Justifier alors l'intérêt de pincer le tuyau d'arrosage si on veut que le filet d'eau aille plus loin.
8. Dessiner les lignes de courant dans le tuyau, pincé ou non.

Activité 6 : Bernoulli omniprésent !

Lire le paragraphe D-1 du modèle

La relation de Bernoulli permet d'expliquer de nombreux phénomènes en mécanique et en statique des fluides. Cette relation traduit en fait la conservation de l'énergie lors d'un écoulement. Nous allons ici étudier deux situations classiques.

Cas 1

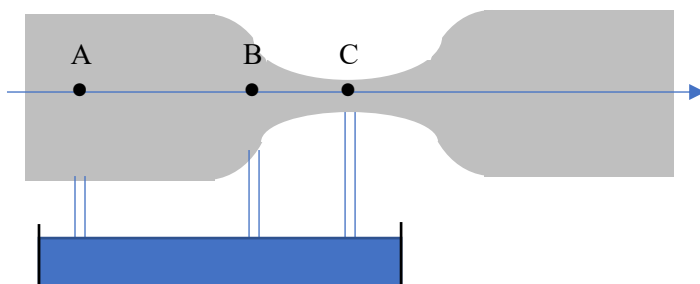
On considère un lac. On rappelle que l'eau est un fluide incompressible.

1. Indiquer quelle grandeur présente dans la relation de Bernoulli est constante.
2. On se place en deux points différents du lac : A à la surface de l'eau, B tout au fond. Écrire la relation de Bernoulli dans ce cas-là.
3. Exprimer la différence de pression entre ces deux points. Que retrouve-t-on ?

Cas 2

On dispose d'une soufflerie à l'extrémité de laquelle on place un manchon permettant de faire varier la section S perpendiculaire de l'écoulement. On suppose que dans les conditions de l'expérience l'air peut être considéré comme un fluide incompressible et parfait et que l'écoulement est horizontal et permanent.

On place des tubes latéraux au contact de l'air circulant dans le manchon et plongeant dans un liquide coloré comme sur le schéma ci-contre.



4. Indiquer quels vont être à votre avis les niveaux d'eau dans les tubes latéraux.

On réalise l'expérience,

5. Noter les observations.
6. En appliquant la loi de conservation du débit volumique puis le théorème de Bernoulli en A, B et C, comparer les pressions et les vitesses en ces points.
7. En utilisant la loi de la statique des fluides, proposer une interprétation aux observations.

**Lire les paragraphe D-2 et D-3 du modèle**

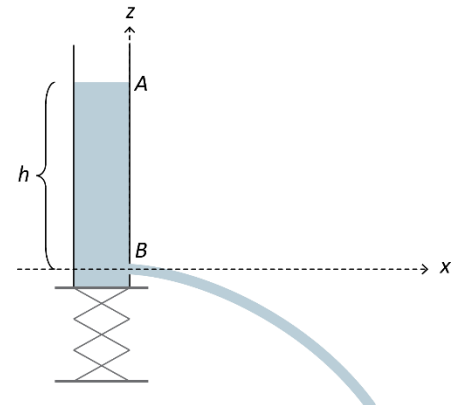
8. Nommer l'effet mis en évidence entre les points A et C.
9. Interpréter au choix l'une des deux situations suivantes à l'aide de l'effet Venturi : trompe à eau (difficile) ou mal aux oreilles à l'entrée d'un tunnel lorsqu'on est en train (plus facile). Un schéma est attendu.

Activité 7 : Testons Bernoulli

Pour tester la relation de Bernoulli, on envisage l'expérience suivante, dans laquelle une cuve remplie d'eau a été percée proche de sa base, et laisse s'échapper l'eau selon une vitesse initiale v_0 formant un angle α avec l'axe x . Nous allons calculer la vitesse initiale de l'eau de deux manières :

j en exploitant la relation de Bernoulli : ce sera la vitesse initiale prévue, notée $v_{0 \text{ prévue}}$;

k en exploitant l'équation de la trajectoire du jet d'eau : ce sera la vitesse initiale constatée, notée $v_{0 \text{ constatée}}$.

**1^{ère} partie****Prévision de la vitesse initiale du jet par la relation de Bernoulli**

On admet que la vitesse d'écoulement au point A est négligeable devant celle au point B.

1. En considérant la conservation du débit, vérifier à quelle condition cette hypothèse est possible.
2. Appliquer la relation de Bernoulli entre les points A et B représentés ci-dessus pour établir l'expression de la vitesse initiale du jet d'eau : $v_{0 \text{ prévue}} = \sqrt{2gh}$

$h = z_A - z_B$ étant la hauteur d'eau au-dessus de l'orifice par lequel l'eau s'écoule.

Cette relation est connue sous le nom de « formule de Torricelli ».

Expérimentalement : (sur la photo)

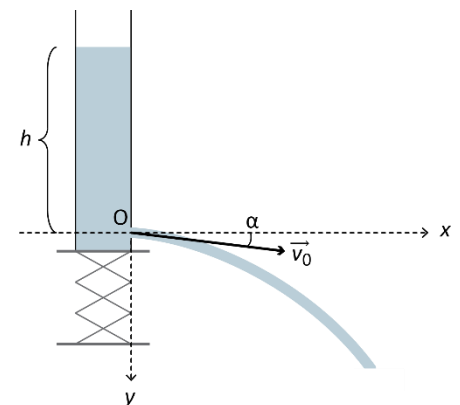
3. Mesurer la valeur de h et en déduire la valeur prévue de $v_{0 \text{ prévue}}$.

2^{ème} partie**Détermination de la vitesse initiale constatée du jet d'eau**

Nous allons à présent déterminer la vitesse initiale réelle du jet en exploitant les lois de la mécanique et la trajectoire du jet. Pour cette étude, il est pertinent de changer de repère et d'utiliser un axe vertical orienté vers le bas :

Dans ce repère, on montre à l'aide des lois de Newton que la trajectoire du jet d'eau s'exprime comme celle d'un projectile avec vitesse initiale :

$$y(x) = \frac{g}{2v_0^2 \cos^2(\alpha)} x^2 + \tan(\alpha) x$$

**Expérimentalement :**

4. A l'aide de la photo attribuée par l'enseignant, faire une étude de la trajectoire par Regressi pour modéliser l'équation de la trajectoire.
5. En déduire la valeur de α puis de v_0 .
6. Comparer les deux valeurs de la vitesse initiale obtenue. Ajouter vos valeurs dans le tableau partagé et commenter les résultats de la classe.