

Comment peut-on se déplacer dans un fluide ?
 Pourquoi un bateau flotte-t-il ? Et pourquoi chavire-t-il ?
 Ils ont dit :
 « Depuis Archimède les bateaux flottent. » - Gregory Suave.

« Les bateaux enfouis dans le sable peuvent-ils se vanter d'une certaine stabilité? » - Faya Dequoy.
 « Si vous voulez aller sur la mer, sans aucun risque de chavirer, alors, n'achetez pas un bateau: achetez une île! » - Marcel Pagnol.

Niveau :

Cycle de terminale Bac professionnel.
 Tronc commun.

Dispositif :

En sciences : Thème concernant les transports.
 T5 : Comment se déplacer dans un fluide.
 Exploitable en technologie de spécialité suivant les référentiels.

Disciplines concernées : Sciences, technologie de spécialité selon les diplômes préparés (hydraulique, mécanique des fluides, bâtiment, industrie...etc.).

Objectifs (en lien avec les programmes) :

A travers des expériences ludiques et simples ou plus précises en laboratoire, l'élève doit être capable de connaître les conditions de flottabilité d'un matériau ainsi que les conditions d'équilibre d'un corps flottant.

Compétences du socle :

T5 1- Pourquoi un bateau flotte-t-il ?

CAPACITÉS

Déterminer expérimentalement la valeur de la force de poussée d'Archimède.

CONNAISSANCES

Connaître les conditions de flottabilité d'un matériau.
 Connaître les conditions d'équilibre d'un corps flottant.
 Connaître la différence entre centre de gravité et centre de poussée.
 Connaître le principe de la poussée d'Archimède.

EXEMPLES D'ACTIVITÉS

Recherche documentaire sur la ligne de flottaison des bateaux.
 Etude du principe des ballasts des sous-marins.
 Détermination du volume d'un objet avec une balance.

DÉROULEMENT

Proposition 1 :

Expériences simples ne nécessitant pas de matériel sophistiqué.
Pourquoi TARA flotte-t-il malgré ses 120 tonnes ?
L'enseignant introduit la question, et intéresse les élèves à la problématique de la flottaison des bateaux.
Les élèves sont amenés à proposer différentes expériences.

Expérience 1 :

Les élèves jouent aux devinettes en classant des matériaux de densités différentes selon leur flottabilité sans expérimentation. Vérification de ce classement par expérimentation en introduisant ces matériaux dans un bac d'eau (casserole par exemple).

Énoncé des premières conditions de flottabilité. Mise en évidence des masses volumiques (donc densité) par rapport à la masse volumique de référence (eau).

Expérience 2 :

Comment faire flotter un matériau de densité supérieur à 1 ?
Pâte à modeler en boule, puis en lui donnant une forme creuse de bateau par exemple.

Expérience 3 :

Mettre en évidence l'importance du volume d'eau déplacé.
Un verre, une casserole remplie d'eau à ras bord et du sable
On introduit de manière progressive de plus en plus de sable dans le verre, et ce jusqu'à l'immersion.

Poussé
d'Archimède en

N

Masse volumique en

kg/m³

Volume immergé en

m³

Valeur de la
pesanteur en

N/kg

Proposition n°2 :

Expériences successives et évolutives avec du matériel de laboratoire
(Balance électronique, dynamomètre).

Système étudié :

Pot rempli d'une matière quelconque (sable par exemple)

Caractéristiques du pot :

1- Relever la masse du pot rempli de sable (avec une balance électronique, en gramme puis en kg)

2- Proposer une méthode pour mesurer le volume du pot :
Indices : proposer le matériel expérimental (verre plein à ras bord d'eau colorée, bécher gradué)

Réponse : Par déplacement de liquide (eau colorée)

Expérience : On suspend le pot à un dynamomètre

On constate qu'on déplace de plus en plus d'eau.

La flottabilité dépend du volume d'eau déplacée.

Les expériences précédentes nous amènent à l'existence d'une force qui empêche certains corps plongés dans un liquide de couler. Cette force est appelée poussée d'Archimède.

Les élèves décrivent les différentes caractéristiques de cette force :

- Point d'application
- Direction
- Sens
- Intensité

Influence de la masse volumique (densité) :

Les objets flottent-ils de la même manière dans des liquides différents ?

Expérience 4 :

Une pomme dans une casserole d'eau douce puis dans une casserole d'eau salée
La pomme s'enfonce moins dans l'eau salée

L'intensité de la poussée d'Archimède dépend donc de la masse volumique du liquide utilisé.

Tout corps, plongé dans un fluide (liquide ou gaz) reçoit de celui-ci une force de bas vers le haut, appelée poussée d'Archimède, et dont l'intensité est proportionnelle au poids du volume déplacé.

Comme : $P = m \times g$ et $m = V \times \rho$

On obtient : $F = \rho \cdot V \cdot g$

3- Établir un bilan des forces exercées sur le pot

Réponse : Poids et tension du fil

Le pot est plongé dans l'eau colorée

Que constatez-vous ? Nouvelle indication du dynamomètre !

Une nouvelle force apparaît dans le bilan des forces s'exerçant sur le pot dans l'eau

L'eau exerce une nouvelle force sur l'eau ; la poussée d'Archimède

4- Donner ses caractéristiques : direction, sens et intensité

Réponse : Direction : verticale

Sens : vers le haut

Intensité : Indication du dynamomètre dans l'air – indication du dynamomètre dans l'eau colorée

Questions: Est-ce que l'intensité de cette force dépend de la masse du pot ou de son volume ?

5- La poussée d'Archimède dépend-elle de la masse du pot ?

Pour répondre à cette question, on recommence la même expérience avec le même pot en le remplissant de quantités différentes de sable, puis on compare les différentes poussées d'Archimède mesurées. Conclure. Nouvelle expérience :

On vide partiellement le pot de sable. On le suspend au dynamomètre dans l'air, puis à nouveau on le plonge dans l'eau colorée. La différence nous donne l'intensité de la poussée d'Archimède... c'est la même que précédemment !

Conclusion : La poussée d'Archimède s'exerçant sur le pot est indépendante de sa masse

6- Est-ce que l'intensité de la poussée d'Archimède dépend du volume du pot ?

Pour répondre à cette question. On remplace le pot par des masses marquées dont la masse totale est égale à celle du pot. Bien entendu le volume des masses marquées est différent de celui du pot. Observer et conclure

Le pot et les masses marquées ont la même masse et pourtant placés dans l'eau, le dynamomètre n'indique pas la même valeur.

Conclusion : La poussée d'Archimède s'exerçant sur un système, dépend de son volume.

Cherchons maintenant l'expression de la poussée d'Archimède :

7- En s'aidant du volume du pot. Déterminer le poids du volume d'eau déplacé

On suppose que la masse volumique de l'eau colorée est voisine de celle de l'eau ; soit : 1000 kg/m^3

Réponse : $P = M \times g = \rho \times V \times g$

8- Comparer à l'intensité de la poussée d'Archimède exercée par l'eau colorée sur le pot de sable déterminée à la question 4. Conclure.

On trouve la même valeur en Newton que celle mesurée précédemment avec le dynamomètre

Conclusion : L'intensité de la poussée d'Archimède exercée sur le pot plongé dans l'eau colorée est égale au poids du volume déplacé de cette eau colorée.

9- L'intensité de la poussée d'Archimède dépend-elle de la nature du fluide déplacé ?

Reprenons le pot de sable toujours attaché au dynamomètre et plongeons-le maintenant dans l'eau de mer.

Observer et conclure.

Conclusion :

Un système immergé totalement ou partiellement dans un fluide est soumis à des forces de pression exercées par ce fluide dont la résultante est une force de poussée appelée poussée d'Archimède dont les caractéristiques sont :

- Point d'application : centre d'inertie du fluide déplacé.
- Direction : verticale.
- Sens : du bas vers le haut.
- Intensité : poids du volume déplacé $F = \rho V g$.

PROLONGEMENTS POSSIBLES

Application 1 :

Archimède, les bateaux et TARA...

Un peu de vocabulaire :

les élèves effectuent des recherches et en discutent avec le professeur.

- œuvres vives, œuvres mortes.
- ligne de flottaison.
- quille, tirant d'eau.
- gîte, tangage, roulis.

Un peu de calcul :

Les caractéristiques techniques de TARA sont exploitées.

TARA pèse 120 tonnes.

Tirant d'eau : 1,5 m à 3,5 m

Hypothèses simplificatrices :

(Les valeurs numériques qui suivent sont données à titre d'exemple).

- masse volumique du fluide (eau douce : 1000 kg/m^3 soit 1 kg pour un litre.
- bateau à géométrie uniforme : **prisme** avec en moyenne : longueur de 20m, largeur de 8m et hauteur d'immersion à calculer.
- bateau homogène. La quille (dérive) est négligée car supposée en position haute.

On se propose de calculer la profondeur h , appelée aussi creux, de TARA.

Profondeur de la carène sous la ligne de flottaison, les appendices (quille, dérive, safrans) ne sont pas pris en compte.

- Un schéma simple avec repérage des éléments du bateau, constitue une base précieuse pour amener les différentes problématiques.
- Volume déplacé par le bateau ou volume immergé : $V = 120 \text{ m}^3$
- Les élèves dessinent un **prisme** en perspective

Sachant que le volume du prisme est $V = L \times S$ (S est la surface de coupe transversale)

$$S = L \times h/2 \quad \rightarrow \quad \text{aire d'un triangle}$$

$$V = L \cdot L \cdot h/2 \quad \rightarrow \quad h = 2V/L \cdot L$$

Application numérique:

$$h = 2 \times 120 / 20 \times 8 \quad \text{et} \quad h = 1,5 \text{ m}$$

Remarque :

- La profondeur d'immersion calculée correspond au tirant d'eau minimum soit 1,5 m (dérive rentrée).
- Faire d'autres applications numériques en changeant les dimensions moyennes ou avec des densités d'eau de mer différentes (exemple de la mer rouge !). Commentaires et interprétations.

Tangage et roulis :

Un bateau peut être considéré comme un corps non homogène puisque constitué d'une quille et d'une coque.

La quille a pour objectif d'**abaisser le centre de gravité G** du bateau **au dessous du centre de gravité C** du volume d'eau déplacé.

Proposer deux représentations simplifiées d'un voilier :

- Sur la première figure, le bateau possède une quille (équilibre stable). Sur la seconde, le même bateau en est dépourvu (équilibre instable).
- Les élèves tracent sur chaque schéma, le vecteur poids et le vecteur poussée d'Archimède.

Remarquer le déplacement du centre de gravité du bateau.

Sans quille, les mâts et les voiles mettraient le centre de gravité G du bateau au dessus du centre C du volume d'eau déplacé. Dès que le bateau **tangue**, ces deux forces forment un couple et **le bateau chavire**.

A la différence du **tangage** (oscillation entre l'avant et l'arrière autour de l'axe transversal), le roulis est une oscillation autour de l'axe longitudinal. Sous l'effet de la houle, ce gîte accroît l'instabilité et le bateau peut chavirer.

Condition de stabilité : le centre de poussée C doit être au-dessus du centre de gravité G.

TARA possède deux **quilles ou dérives rétractables*** (tirant d'eau variable: de 1,5 à 3m) permettant plus de stabilité et moins de gîte. Une quille haute facilite la navigation par faible tirant d'eau et permet l'accès à certains ports.

Elle évitera également à TARA, goélette en aluminium, l'emprisonnement dans la glace. La pression de la glace fait remonter la goélette sur la banquise, comme une savonnette entre des mains humides.

*Les dérives sont probablement lestées. Des précisions complémentaires sur la technologie et la fonction de ces appendices peuvent être apportées par les marins de TARA.

Le professeur étudie la possibilité d'une visite d'un chantier naval.

RESSOURCES

- **Internet** : moteur de recherche Google.
- **Livre** : Dynamique des fluides, dynamique de vie de Pierre Henri Communay.
- **Discussions avec des marins Lorientais**.

Application 2 :

Mesure de la charge d'un navire dans un bassin : port en lourd, franc-bord.

Le bateau entre dans un bassin à vide, on note le niveau d'eau. Le niveau d'eau est noté à nouveau, une fois que le bateau est chargé. Connaissant la forme du bassin (parallélépipède en général) et l'élévation du niveau d'eau, on calcule le volume d'eau déplacé, ce qui nous donne en définitif le volume d'eau déplacé et donc la charge du navire. Voilà un petit résumé de calcul.

D'autre part l'enfoncement propre du bateau peut être calculé comme dans l'application 1.

POUR ALLER PLUS LOIN

Naviguer dans un flux

Comment peut-on se déplacer dans un fluide ? In : media. education.gouv [en ligne]. 2009. http://media.education.gouv.fr/file/Programmes/54/2/Voie_prof_Ressources_SPC_Activite_t5_123542.pdf (Consulté le 27 janvier 2010).

Cours théorique et expériences proposées

Derniaux, Catherine. *La poussée d'Archimède*.

In : académie de Créteil [en ligne]. 2009. <http://spcfa.ac-creteil.fr/spip.php?article=197> (Consulté le 27 janvier 2010).

Powerpoint interactif abordant la poussée d'Archimède du point de vue expérimental.

FENDT, Walter. *Le principe d'Archimède*.

In : prof tnj [en ligne]. 1998. <http://www.proftnj.com/archipri.htm#Rappels> (Consulté le 27 janvier 2010).

Animation interactive illustrant l'apparition de la poussée d'Archimède.

Principe d'Archimède.

In : plongée amiral [en ligne]. 2006. <http://plongee.amiral.free.fr/formation/niveau4/leprincipepn4.htm> (Consulté le 27 janvier 2010).

Principe d'Archimède, poids apparent et poids réel, flottabilité...

La matière en mouvement,

TDC 934, avril 2007, p. 5-52.

Dossier, publié en 2007, sur la mécanique des fluides et des solides, abordée à travers de nombreux exemples.

Rôle de l'image dans l'étude de la physique des fluides.

Analyse du tableau «Le souffleur de bulles» de Jean Siméon Chardin. Séquences pédagogiques. Ecole : fluides, sources de questionnement, réalisations de protocoles. Lycée : comprendre l'activité du manteau terrestre et la convection mantellique, étudier la poussée d'Archimède et réaliser un densimètre.

Des mécanismes liés à l'eau,

BT 1129, juin 2001, p. 34-37.

Reportage présentant les différents mécanismes liés à l'eau : vis d'Archimède, aéromètre de Beaumé. Rappel du principe de la poussée d'Archimède.

De cause à effet (4),

Le Travail de la pression / Pression de l'eau / Pression atmosphérique / Poussée d'Archimède, La Cinquième, 1997, 52 minutes.

Description de phénomènes physiques à partir d'une démarche d'observation : le travail de la pression, la pression de l'eau, la pression atmosphérique, la poussée d'Archimède.

Joyeux sorciers, C'est pas sorcier,

2002, 20 minutes.

Ce document se propose d'expliquer, à travers des anecdotes historiques et des exemples concrets, la différence entre poids et densité. Elle se déroule en compagnie d'enfants qui participent aux expériences et explications relatives à la force de gravité de Newton et à la poussée d'Archimède. Elle permet d'approcher aussi les notions de poids, de masse, de volume, trajectoires, accélération, vitesse, frottements, vide, air, eau, gaz, acide, calcaire, dégazage...