

Athénée royal du Condroz Jules Delot

Ciney

Module 3

Force d'Archimède



3ème générale
Physique 2h/semaine

Ir Jacques COLLOT

Activité 1 : Force d'Archimède dans les liquides

1. Objectifs de l'activité

- Rappeler la notion de forces pressantes exercées par l'eau (et tous les liquides) sur les surfaces du récipient qui la contient (surfaces pressées).
- Découvrir que les forces pressantes exercées par l'eau agissent aussi sur les corps :
 - partiellement immergés (corps flottants) ;
 - complètement immergés.
- Découvrir les paramètres qui influencent la force d'Archimède.
- Effectuer des mesures afin d'estimer la valeur de la force d'Archimède.
- Conclure en dégagant les 3 étapes conduisant à la loi d'Archimède :
 - 1- un objet dans un liquide déplace un volume de liquide ;
 - 2- ce volume de liquide déplacé a un poids ;
 - 3- la valeur de la force d'Archimède est égale à la valeur de ce poids.

2. Objectifs de savoirs

- Découverte de la notion de corps flottants - immergés.
- Découverte de la force d'Archimède.
- Découverte de ses caractéristiques (à l'exception du point d'application) et des paramètres d'influence.
- Applications

3. Objectifs de savoir-faire

- Dégager les variables dépendante et contrôlée lors d'une expérience.
- Tracer un graphique et dégager le coefficient de proportionnalité.
- Transférer certaines notions dans d'autres contextes.

4. Notions de corps flottants.

4.1 Rappel : Représentation d'une force.

Le poids d'un corps mesure la force avec laquelle la Terre attire un objet de masse donnée en un endroit déterminé. La force est représentée par un segment orienté de droite (plus tard nous dirons : un vecteur). Ce segment orienté de droite possède :

- 1- Une direction (la droite qui détermine le segment)
- 2- Un sens
- 3- Un point d'application, c'est-à-dire à quel endroit la force agit. En général, ce point est le centre de gravité du corps.
- 4- Une intensité qui se mesure en newtons. La longueur du segment orienté est proportionnelle à l'intensité de la force.

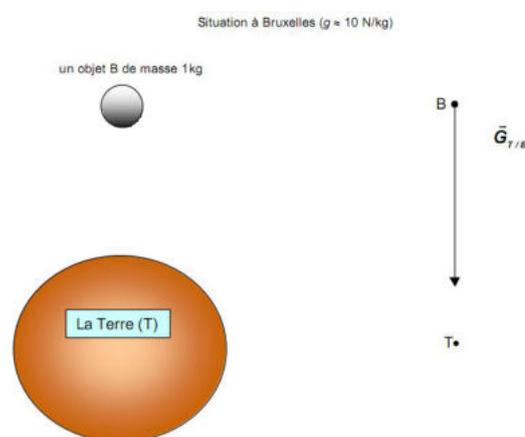


Fig 4.1 : Représentation de la force poids d'un objet B de masse 1 kg

4.2 Corps flottants.

Sur l'eau, les bateaux sont plus ou moins enfoncés. Bien entendu, nous savons que cela dépend de leur charge. Plus les bateaux sont chargés, plus ils s'enfoncent. Il est d'ailleurs évident qu'une charge maximale ne peut être dépassée !

Une expérience simple permet de modéliser cette situation :

Utilisons des bouteilles identiques de $\frac{1}{2}$ litre (plastique). Lestons-les : 2 N, 4 N, 6 N et 8 N. Les deux premières flottent, les deux autres coulent. Remarquons que, dans tous les cas, le niveau d'eau monte : un objet dans un liquide déplace un volume de liquide.

Pourquoi les deux premières bouteilles flottent-elles ? Pourquoi les bateaux ne coulent-ils pas ?

L'eau exerce une force qui les soutient.

Quelle est l'orientation de cette force (droite d'action, sens) ? Quelle est sa valeur ?

Elle est dirigée verticalement vers le haut. Sa valeur est égale au poids de l'objet.

Conclusion :

Cette force exercée par l'eau sur l'objet flottant s'appelle force d'Archimède, elle est verticale, dirigée vers le haut et sa valeur est égale au poids de l'objet.

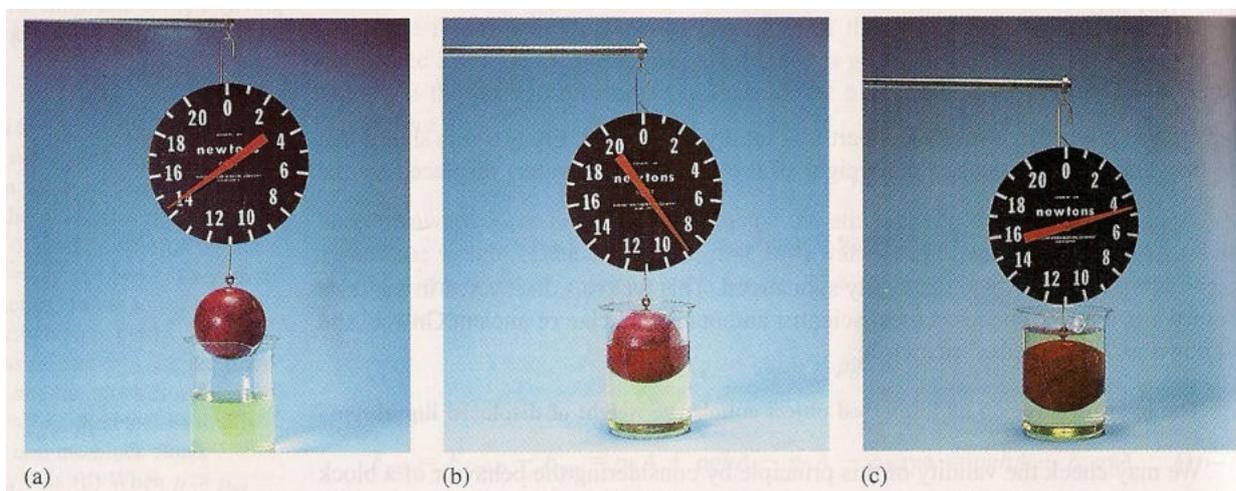


Fig 4.2 : (a) La sphère ne déplace pas d'eau, le dynamomètre indique le poids de la sphère ; (b) La sphère plonge partiellement dans l'eau, le dynamomètre indique une valeur moindre ; (c) La sphère plonge totalement dans l'eau, le dynamomètre indique le poids de la sphère diminué de la force d'Archimède

5 Caractéristiques et mesure de la force d'Archimède dans les liquides

5.1 Généralisation de la force d'Archimède.

L'eau exerce-t-elle également une force sur les deux bouteilles qui coulent ? (Rappelons qu'il s'agit de deux bouteilles de $\frac{1}{2}$ litre lestées de manières différentes) :

- peut-être : on fait de la gymnastique et de la rééducation en piscine pour que ce soit plus facile... « l'eau porte le corps ».
- si oui, cette force est plus petite que le poids puisque les bouteilles ne flottent pas.

Pour le vérifier, nous devons faire des mesures.

- Utilisons la bouteille lestée à 6 N.
- Suspendons-la à un dynamomètre (10 N). Il indique 6 N.
- Plongeons-la entièrement dans l'eau. Le dynamomètre indique 0,5 N (environ). L'eau exerce donc une force verticale vers le haut de 5,5 N.

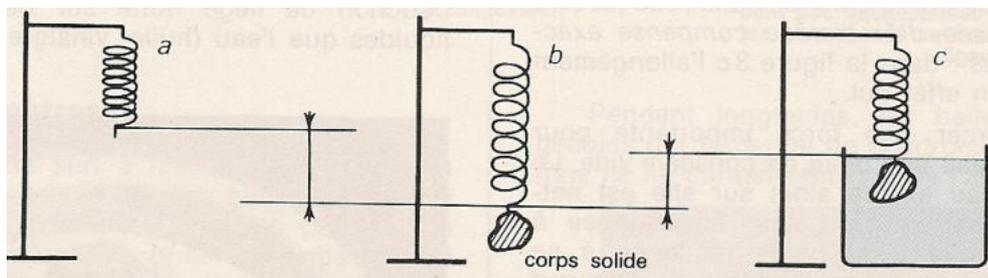


Fig 5.1 : Un ressort s'allonge sous l'action du poids d'un corps. Cet allongement diminue lorsque le corps est immergé dans l'eau.

5.2 De quoi la force d'Archimède dépend-elle ?

5.2.1 De la profondeur ?

Toutes nos expériences montrent que... NON (dans la limite des récipients utilisés).

5.2.2 De la forme du récipient ?

Les expériences sont faciles à réaliser. Elles montrent que... NON.

5.2.3 Du poids de l'objet immergé ?

Utilisons la bouteille lestée à 8 N. Quand elle est immergée, le dynamomètre n'indique plus que 2,5 N. L'eau exerce donc une force verticale vers le haut de 5,5 N. Les deux bouteilles lestées à 6 N et 8 N subissent la même poussée.

Conclusion : la force d'Archimède ne dépend pas du poids (de la masse) de l'objet immergé.

5.2.4 Du volume de l'objet immergé ?

Au moins deux expériences simples peuvent être proposées :

- utilisons deux sacs en plastique de même poids (2N). Le premier contient du sable et l'autre des petits grains de plomb. Leurs volumes sont très différents. Une fois les sacs entièrement immergés, le dynamomètre n'indique plus que 0,6 N (sable) et 1,7 N (plomb). Les forces d'Archimède sont de 1,4 N et 0,3 N. Elles diffèrent donc en fonction du volume.
- Reprenons la bouteille lestée à 8 N, suspendons-la au dynamomètre et plongeons-la progressivement dans l'eau. La force indiquée par le dynamomètre diminue graduellement et donc la force d'Archimède augmente graduellement.

Conclusion : la force d'Archimède dépend du volume de l'objet immergé.

5.2.5 De la nature du liquide ?



Fig 5.2 : La salinité de la mer Morte permet à une personne de flotter tout en étant couché.



Fig 5.3 : Une vis de laiton flotte sur du mercure

Refaisons les mesures avec le sac lesté à 2 N de sable dans de l'eau salée et du méthanol. Quand le sac est entièrement immergé, le dynamomètre indique 0,35 N (eau salée) et 0,9 N (méthanol). La force d'Archimède est donc plus importante dans l'eau salée (1,65 N) que dans l'eau pure (1,4 N), et plus faible dans le méthanol (1,1 N).

Conclusion : la force d'Archimède dépend de la nature du liquide, elle est d'autant plus importante que la masse volumique du liquide l'est aussi.

5.2.6 D'autres facteurs ?

À réfléchir... et à tester !

Conclusion :

Un objet immergé (entièrement ou en partie) dans un liquide, subit de la part de celui-ci une force exercée verticalement vers le haut. La valeur de cette force dépend du volume immergé et de la nature du liquide.

5.3 D'où cette force vient-elle?

Réalisons une expérience pour résoudre ce problème : je pose un disque contre l'extrémité d'un tuyau en plastique souple. Quand je lâche le disque, il tombe. Je maintiens le disque contre le tuyau. J'introduis l'extrémité bouchée dans l'eau. Je lâche le disque, il reste collé au tuyau : l'eau le pousse.

Conclusion : l'eau exerce une force pressante sur le fond du récipient (surface pressée).

L'eau exerce-t-elle également une force pressante sur les parois verticales ?

Réalisons une expérience pour répondre à cette question : je reprends le tube, mais cette fois, je le plie de telle sorte que l'ouverture fermée par le disque soit verticale. J'entre cette extrémité dans l'eau. Je lâche le disque. Il reste collé. L'eau pousse également sur les côtés. Cette force est horizontale.

Puisque l'eau la pousse horizontalement, pourquoi la bouteille ne se déplace-t-elle pas latéralement, vers la gauche ou vers la droite ? Sans doute parce que les forces latérales (1) et (2) sont identiques et s'équilibrent.

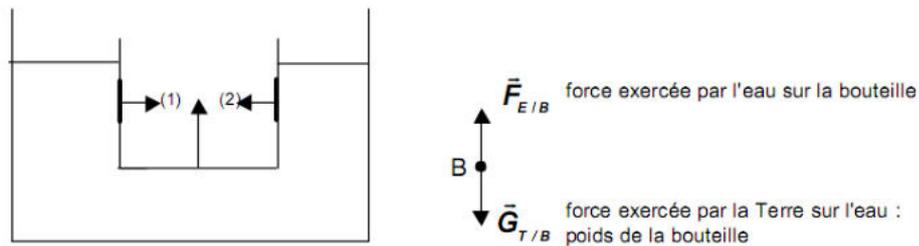


Fig 5.4 : Les forces latérales sont identiques et s'équilibrent. La force d'Archimède correspond à la force appliquée sur le fond du récipient.

Conclusion : de l'ensemble des forces pressantes exercées par l'eau sur tous les côtés de la bouteille qui flotte, il résulte une force verticale vers le haut. Elle s'appelle la force d'Archimède.

Schématisation de la force d'Archimède.

1. Corps flottant à la surface du liquide.

(avec B l'objet, E l'eau, T la Terre et \vec{G} le poids du corps, \vec{F} la force d'Archimède)

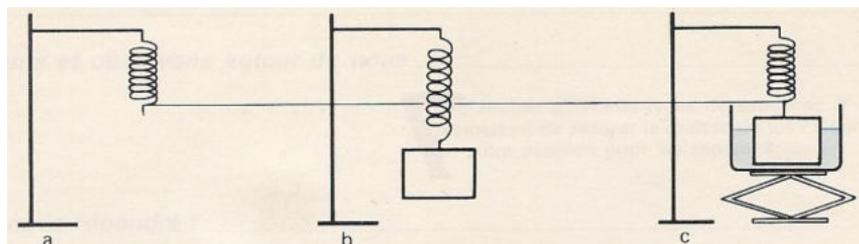


Fig 5.5 : En soulevant progressivement la bassine à l'aide d'un support à hauteur réglable. Le morceau de bois s'enfonce progressivement dans l'eau et l'allongement du ressort diminue. La force d'Archimède augmente avec le volume immergé. A partir d'un certain moment, le bois ne s'enfonce plus et le ressort n'est plus tendu, son allongement devient nul.

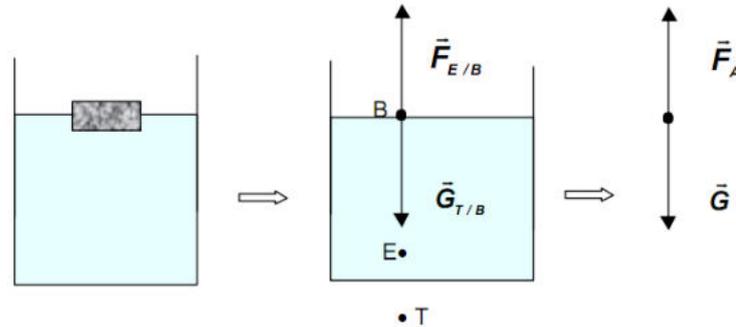


Fig 5.6 : Le morceau de bois s'enfonce tout juste pour que la force d'Archimède compense son poids. A ce moment, les deux forces s'équilibrent et le morceau de bois flotte.

2. Corps en équilibre dans le liquide

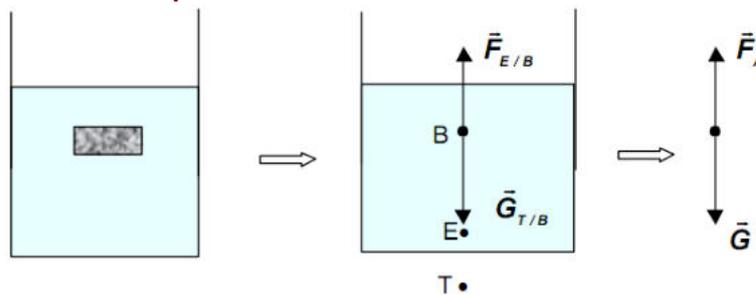


Fig 5.7 : Si lorsque le corps est totalement immergé, la force d'Archimède équilibre le poids du corps, alors celui-ci est dit en équilibre dans le liquide et peut rester à différentes profondeurs.

5.4 Quelle est la valeur de la force d'Archimède ?

Prenons une bouteille de $\frac{1}{2}$ L que l'on gradue de 100 en 100 cm^3 . Elle est lestée suffisamment pour couler si on ne la soutient pas. On peut, par exemple, utiliser la bouteille lestée à 8 N.

Suspendons-la à un dynamomètre. Immergeons-la progressivement dans l'eau. Notons les valeurs lues sur le dynamomètre, pour différents volumes immergés. Calculons la force d'Archimède.

Volume immergé (cm^3)	Le dynamomètre indique en N :	Force d'Archimède en N :	Relation	Poids du liquide déplacé en N :
0				
100				
200				
300				
400				
500				

Quelles sont les variables mises en œuvre ?

Quelle est la variable contrôlée ?

Existe-t-il une relation entre la variable contrôlée et la force d'Archimède ?

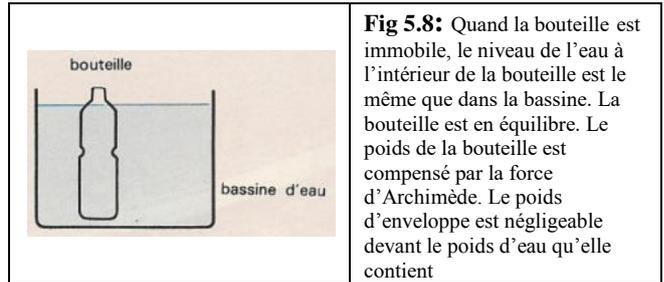
Quelle est donc la variable dépendante ?

A cette variable dépendante mesurée directement, correspond une autre variable dépendante à mesure indirecte, la force d'Archimède. Trace le graphique que ces données suscitent et donne-lui un titre.

Constatations

La valeur de la force d'Archimède est directement proportionnelle au volume immergé. La valeur de la force d'Archimède est chaque fois égale à la valeur du poids du volume d'eau déplacé (équivalent au volume de la partie immergée de l'objet).

D'autres mesures réalisées dans différents liquides, permettent de confirmer ces premiers résultats.



Nous obtenons la loi d'Archimède : la valeur de la force d'Archimède est égale à la valeur du poids du liquide dont l'objet prend la place.

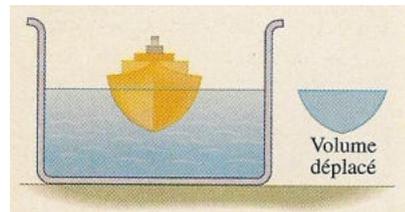


Fig 5.9 : un bateau flotte parce que le volume d'eau déplacé est égal au poids du bateau

6 Applications

6.1 Comment un sous-marin fait-il surface ?

Prenons une bouteille en plastique (330 ml par exemple). Remplissons-la au tiers à l'aide de billes de verre. Elle flotte sur l'eau.

Perçons la bouteille de plusieurs trous dans le bas, de manière à pouvoir y faire passer un tuyau souple et à laisser passer l'eau, sans que les billes puissent sortir.

Ajoutons de l'eau pour remplir complètement la bouteille et refermons le bouchon. Maintenant, la bouteille coule.

Glissons une extrémité du tuyau dans la bouteille. Soufflons de l'air à l'intérieur.

Qu'observons-nous ? Comment l'expliquer ?

Comment un sous-marin fait-il pour remonter à la surface ?



Fig 6-1 Sous marin



6.2 L'eau ne pèse rien dans l'eau.

Prenons un sac de congélation. Remplissons-le d'eau et fermons-le hermétiquement en prenant soin de ne pas laisser d'air (exemple : ½ l dans un sac d'un litre).

Suspendons-le à un dynamomètre. Plongeons le sac progressivement dans l'eau.

Qu'observons-nous ? Comment l'expliquer ?

Expliquer le titre : « l'eau ne pèse rien dans l'eau ».

Que se passerait-il si nous mettions de l'eau salée dans le sac ? (l'expérience peut facilement être réalisée).

6.3 Archimède et le faussaire

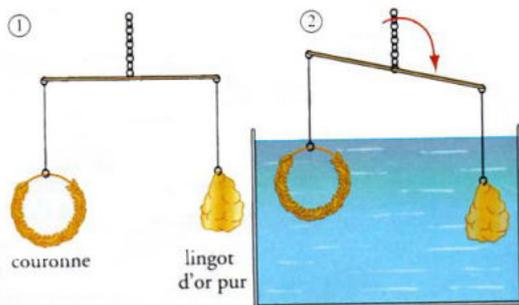


Fig 6.2 : (1) La balance est en équilibre. Le poids du lingot d'or pur est donc identique au poids de la couronne. (2) La balance penche du côté du lingot d'or pur. Ce qui indique que la force d'Archimède qui agit sur la couronne est plus forte que la force d'Archimède qui agit sur le lingot. Le volume de la couronne est donc plus grand que ce qu'il devrait être. La couronne n'est donc pas composée uniquement d'or pur.

La légende raconte que c'est dans son bain qu'Archimède a découvert une méthode permettant de savoir si l'orfèvre auquel le tyran de Syracuse avait confié son or, l'avait utilisé pour faire la couronne demandée ou s'il en avait remplacé une partie par un métal moins cher.

Le poids de la couronne correspondait exactement au poids de l'or fourni. La peser ne permettait pas de savoir si elle était en or massif ou simplement recouverte. La scier l'aurait abîmée !

Une expérience simple montre la méthode finalement utilisée. Prenons un sac de 2 N de sable et un sac de 2 N d'un mélange sable-grains de plomb. Suspendons-les aux deux extrémités d'une tige de 25 cm de long.

Suspendons la tige en son milieu. Nous possédons ainsi une balance à bras égaux. Elle est en équilibre. Plongeons les deux sacs dans l'eau. Que se passe-t-il ? Comment l'expliquer ?

Archimède a fait le même type d'expérience en suspendant d'un côté la couronne et de l'autre un même poids d'or pur.

6.4 Critère de flottabilité des corps

Il est possible de trouver un critère qui permettra de savoir si un corps va flotter dans un liquide ou pas.

Pour simplifier prenons un corps dont nous connaissons son volume V_{corps} et sa masse m_{corps} et que nous plongeons dans un liquide connu. Nous savons que la force d'Archimède sera égale au poids du volume de liquide déplacé. Donc :

$$F_A = \rho_{liquide} \cdot V_{liquide} \cdot g$$

Nous savons aussi que le poids du corps est donné par :

$$G = m_{corps} \cdot g$$

Or la masse du corps peut être calculée si on connaît son volume et sa masse volumique :

$$m_{corps} = \rho_{corps} \cdot V_{corps} \rightarrow G = \rho_{corps} \cdot V_{corps} \cdot g$$

Nous avons alors les cas suivants :

- 1) Le corps coulera si la force d'Archimède est plus petite que le poids du corps

$$F_A < G \rightarrow \rho_{liquide} \cdot V_{liquide} g < \rho_{corps} \cdot V_{corps} g$$

Et comme $V_{corps} = V_{liquide}$:

$$\rho_{liquide} < \rho_{corps}$$

- 2) Le corps restera en équilibre si :

$$\rho_{liquide} = \rho_{corps}$$

- 3) Le corps flottera si :

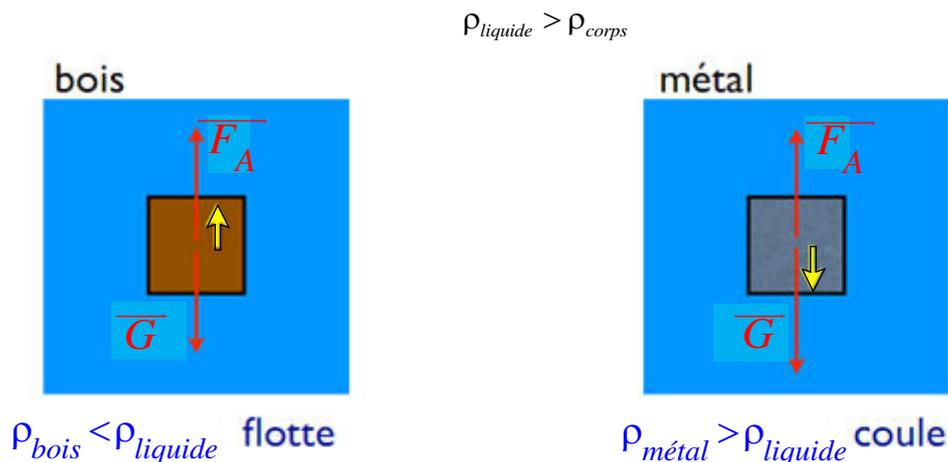


Fig 6.3 : (A droite) La masse volumique du bois est plus petite que la masse volumique du liquide. Il flotte. (A gauche) La masse volumique du métal est plus grande que la masse volumique du liquide. Il coule

En résumé, il suffit de comparer la masse volumique du corps à la masse volumique du liquide pour savoir si le corps va flotter ($\rho_{\text{liquide}} > \rho_{\text{corps}}$), ou s'il va couler ($\rho_{\text{liquide}} < \rho_{\text{corps}}$).

Activité 2 : Exercices qualitatifs et quantitatifs sur la force d'Archimède dans les liquides

1 Objectifs de l'activité :

- S'assurer de la compréhension du concept " Force d'Archimède " et des notions s'y rapportant par le biais d'exercices qualitatifs.
- Entretenir et développer certains outils indispensables à la résolution d'exercices quantitatifs (transformations de formules, valeurs et unités du SI, recours aux exposants...).

2 Données valables pour tous les problèmes

Si nécessaire, prendre $g = 10 \text{ N/kg}$.

Masse volumique de quelques substances exprimée en kg/ m^3

Aluminium (Al)	2 700	Or (Au)	19 300	Corps humain	1 070	Ether	740
Argent (Ag)	10 500	Platine (Pt)	21 400	Alcool	810	Glace	917
Cuivre (Cu)	8 900	Plomb (Pb)	11 300	Eau	1 000	Essence	700
Étain (Sn)	7 300	Zinc (Zn)	7 100	Eau de mer	1 026	Huile	880
Fer (Fe)	7 900	Mercure (Hg)	13 600	Glycérine	1 226	Méthanol	790

3 Les exercices qu'il faut savoir faire

1. Quelle est la poussée d'Archimède subie par une péniche de 100 tonnes naviguant sur un canal ?
2. Quelle est la poussée d'Archimède subie par un navire de 100 tonnes naviguant en mer ?
3. Quel est le volume immergé d'une péniche de 100 tonnes naviguant sur un canal ?

4. Quel est le volume immergé d'un navire de 100 tonnes naviguant en pleine mer ?
5. Quel est le poids maximal que ne peut dépasser une boîte de conserve de 0,5 L pour ne pas couler dans l'eau pure ?
Même question pour l'eau de mer.
6. Un cube de cuivre de 5 cm de côté est plongé dans de l'eau. On le suspend à un dynamomètre puis on le plonge dans l'eau. Qu'indiquera le dynamomètre ?
7. Une sphère en aluminium a un volume de 10 cm^3 . Quel est son poids dans l'air ? Que vaut la force d'Archimède exercée par l'eau sur cette sphère ?
- 8- Un morceau de plomb a une masse de 40 kg. On le suspend à un dynamomètre puis on le plonge dans l'eau ; qu'indiquera le dynamomètre ? (Même travail dans l'alcool et dans le mercure).
- 9- On suspend une sphère de cuivre de 2,5 kg à un dynamomètre puis on la plonge dans l'eau. Qu'indiquera le dynamomètre ?
- 10- Un cube de zinc pèse dans l'air 50 N. On le suspend à un dynamomètre puis on le plonge dans l'alcool. Qu'indiquera ce dynamomètre ?
- 11- Plongé dans de l'eau pure, un corps complètement immergé subit une poussée de 0,735 N. Quelle serait la force d'Archimède exercée sur ce corps dans de l'eau salée ($= 1030 \text{ kg/m}^3$) ?
- 12- Si on suspend à un dynamomètre un objet en cuivre de 3,5 kg et qu'on plonge cet objet dans un liquide dont la masse volumique est de 800 kg/m^3 , qu'indiquera le dynamomètre ?
- 13- Un objet a dans l'air un poids de 2 N. Lorsqu'on le suspend à un dynamomètre puis qu'on le plonge dans l'eau, le dynamomètre indique 1,6 N. Quel est son volume ?
- 14- On suspend un bloc de verre à un dynamomètre. Il indique 1,33 N. On immerge le bloc dans l'eau et le dynamomètre indique 0,86 N. On immerge ensuite le bloc dans l'alcool et le dynamomètre indique 0,96 N. Quel est le volume du bloc de verre? Quelle est la masse volumique de l'alcool ?
- 15- Une cuvette métallique vide a une masse de 60 kg. Sa base est un rectangle de 10 dm sur 8 dm et sa hauteur est de 5 dm. Elle flotte à la surface de l'eau.
 - a. Calculer la hauteur de la partie immergée.
 - b. Quel poids minimum faut-il placer dans la cuvette pour qu'elle soit entièrement immergée ?



4 Exercices de dépassement

1. Lors d'une expérience en classe, le professeur met 8 L d'eau dans un seau de 10 L. Il met ensuite du sable dans une bouteille en plastique de 1 L. Il place la bouteille sur une balance qui indique 900 g. Il met la bouteille dans l'eau.
 - a. La bouteille flotte-t-elle ou coule-t-elle ?
 - b. Quelle est la valeur de la poussée d'Archimède subie par la bouteille ?
 - c. Si la bouteille flotte, quel est le volume qui est immergé ?
2. Le professeur recommence l'expérience mais en utilisant cette fois du méthanol. Répondre aux mêmes questions.
3. Un sac contenant du sable est suspendu à un dynamomètre qui indique 2 N. Lorsque le sac est immergé dans l'eau pure, le dynamomètre n'indique plus que 0,6 N. Quelle est la masse volumique du sable ?
4. Un bloc de bois pèse 88 N. Si on suspend un morceau de plomb à un dynamomètre et qu'on le plonge dans de l'eau, celui-ci indique 133 N. On attache le bloc de plomb au bloc de bois, ainsi ils sont tous les deux entièrement immergés. Le dynamomètre indique alors 97 N.
 - a. Quel est le volume du plomb ?
 - b. Calculer la masse volumique du bois.
 - c. Quel serait le volume immergé du bois si on le déposait seul sur l'eau ?

Lecture : « Eurêka ! » par Archimède

Archimède ou Arkhimédès (287-212 avant J.-C.) est sans nul doute un des savants les plus fameux de l'Antiquité. Si fameux, d'ailleurs, que des auteurs aussi célèbres que Polybe (IIe siècle avant J.-C.), Tite-Live (Ier siècle avant J.-C.) ou Plutarque (Ier siècle après J.-C.) rapporteront ses trouvailles ; si fameux qu'après sa mort le général Marcellus, vainqueur de Syracuse, fit élever un monument en son honneur. Né à Syracuse au sein d'une famille alliée ou cliente du roi Hiéron, c'est à Alexandrie, en Egypte, qu'Archimède fera ses « premières armes ». Elève d'Euclide, on dit qu'il parvint à assécher les marais du Nil grâce à une vis sans fin, dite vis d'Archimède. C'est du moins ce que rapporte la « légende ». Mais ce qui est certain c'est qu'il rapporta ce principe en Sicile. En effet, comme tous les héros célèbres, qu'ils soient scientifiques, écrivains, soldats ou artistes, toutes sortes de légendes sont venues se greffer sur son histoire. Des certitudes, nous en avons cependant, comme la quinzaine de traités qu'il rédigea, dont douze nous sont parvenues. Comme le fait qu'Archimède était un mathématicien et un physicien hors pair : le calcul infinitésimal, le principe des corps flottants sont là pour en témoigner.



**Archimède
découvrant la
flottabilité (d'après
un dessin moderne).**

Théoricien plus qu'ingénieur, il ne s'adonnera à cette dernière fonction que par la force des choses. C'est notamment parce que le roi Hiéron lui avait demandé de découvrir comment différencier un objet totalement en or d'un autre plaqué d'or qu'Archimède découvrit le principe du poids spécifique des corps. Alors qu'il prenait son bain que le savant se rendit compte que son corps semblait flotter, qu'il paraissait peser moins que son poids. De cette constatation naquit la formule voulant que « tout corps plongé dans un liquide subit une poussée verticale de bas en haut égale au poids du liquide qu'il déplace ». La légende -mais ce n'est qu'une légende- veut qu'Archimède, tout à sa joie, se soit précipiter hors de chez lui dans le plus simple appareil en criant Eurêka ! -« J'ai trouvé ! »

La défense de Syracuse, assiégée trois années durant par les Romains, qui finalement s'en empareront, permettra également au savant de développer son génie mécanique. C'est d'ailleurs ce qui, vraisemblablement, frappa le plus les Romains, plus doué dans l'entreprise que dans la théorie. Considérant ses propres inventions comme de « simples récréations », considérant, selon Plutarque, « tout l'art qui sert aux besoins de la vie comme un métier vil et sans noblesse », il fera néanmoins preuve, là aussi, de génie. Des catapultes capables de lancer des objets de près de 300 kilos, des « bras mécaniques » pouvant saisir des navires entiers, de les soulever et de les laisser s'écraser sur les rochers comptent au « catalogue » des ses inventions. A en croire Diodore de Sicile, il aurait même imaginé des

miroirs géants qui auraient mis le feu aux vaisseaux des assiégeants... Une invention que ni Polybe, ni Tite-Live ni Plutarque ne confirment et qui, après des essais en situation réels, se sont révélés impossibles.

Au final, Syracuse sera prise par les armées du général Marcellus et c'est à cette occasion qu'Archimède perdra la vie, sans doute du fait d'un soldat impatient. Mais son génie était déjà reconnu au point même que ce sont ses ennemis –ou du moins ceux de son pays- qui, pour des siècles, feront sa « promotion ».

HISTORIA NOSTRA <http://www.historia-nostra.com>

Activité 3 : la pression hydrostatique

1 Objectifs de l'activité

- Expliquer la variation de la pression exercée par un liquide en fonction de la hauteur et de la nature du liquide.

2 Objectifs de savoirs

- Découverte qualitative de la notion de pression hydrostatique.
- Applications.

3 Objectifs de savoir-faire

- Dégager les variables dépendante et contrôlée lors d'une expérience.
- Tracer un graphique et dégager le coefficient de proportionnalité.
- Transférer certaines notions dans d'autres contextes.

4 Résumé de l'activité

- Recherche de la relation entre la force pressante exercée sur le fond d'un objet flottant et l'aire de ce fond.
- Recherche des relations permettant d'induire la formule de la pression hydrostatique
- Applications :

- le ludion
- les barrages (profil)
- les châteaux d'eau
- la pression sanguine
- les dangers de la plongée
- ...

5 Pression dans les liquides

5.1 Rappel des notions vues

Un liquide contenu dans un récipient exerce une force sur chaque fragment de la paroi avec laquelle il est en contact. La droite d'action de cette force est perpendiculaire à la paroi. On parle de force pressante. Quand une surface pressée S est soumise à la force pressante F , on dit qu'il y a, à cet endroit, une pression p telle que :

$$p = \frac{F}{S}$$

La pression s'exprime en N/m² ou en Pascal (Pa).

5.2 Force pressante et pression

Nous avons vu (voir « Les corps flottants ») que l'eau exerce des forces pressantes sur le fond et sur les côtés des objets immergés. On peut se demander si, à profondeur égale, chaque portion de la surface, chaque centimètre carré, chaque mètre carré, subit la même force.

Cette fois, il nous faut réaliser une expérience au cours de laquelle des mesures seront effectuées.

Nous utiliserons plusieurs boîtes cylindriques de sections différentes (conserves de différentes tailles).

Elles vont nous servir à calculer la force exercée par l'eau sur chaque élément du fond, à une profondeur déterminée (5 cm par exemple). Il suffira de les surcharger pour qu'elles s'enfoncent jusqu'à cette profondeur. Comme elles flottent, la force pressante de l'eau sur le fond (à 5 cm de profondeur) est égale au poids de la boîte !

Traçons une ligne sur le côté de chaque boîte, à 5 cm du fond (attention au rebord). Posons-les sur l'eau. Elles flottent. Surchargeons-les de manière à ce qu'elles s'enfoncent jusqu'aux lignes marquées. Il est indispensable (et pas toujours facile) d'équilibrer les boîtes pour qu'elles restent verticales ! Sortons les boîtes, séchons-les et pesons-les (avec leur charge).

Les résultats des mesures seront placés dans le tableau ci-dessous.

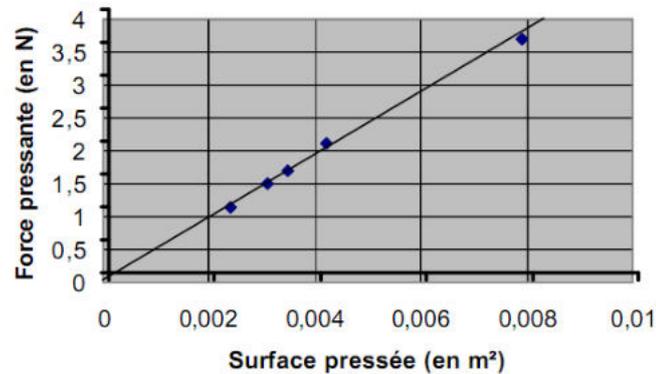
Poids (N)	Force pressante (N)	Diamètre (cm)	Aire du fond (m ²)	F/S (Pa)
1,15	1,15	5,5	0,0024	484
1,5	1,5	6,3	0,0031	481
1,7	1,7	6,7	0,0035	482
2,1	2,1	7,3	0,0042	502
3,7	3,7	10	0,0079	471

pression moyenne : 484

pression théorique : 490

Les résultats des mesures sont placés dans le tableau ci-dessous.

Evolution du quotient entre la force pressante et la surface pressée

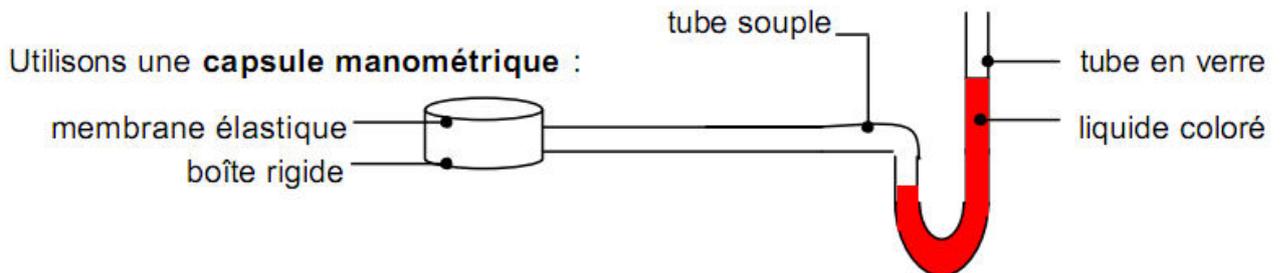


Conclusion

Le quotient de la force pressante par l'aire de la surface pressée est constant.

Ce quotient correspond à la force exercée sur chaque unité de surface. C'est la pression.

6. Etude qualitative de la pression au sein d'un liquide



Usage : si la capsule manométrique est hors de l'eau, les niveaux d'eau colorée dans les 2 branches du manomètre sont égaux ; le niveau du liquide coloré est en rapport avec la pression exercée sur la membrane ; plus la pression est élevée, plus le liquide monte.

La capsule manométrique est l'instrument qui permet d'estimer la pression hydrostatique.

6.1 Vérification de l'existence de la pression au sein d'un liquide.

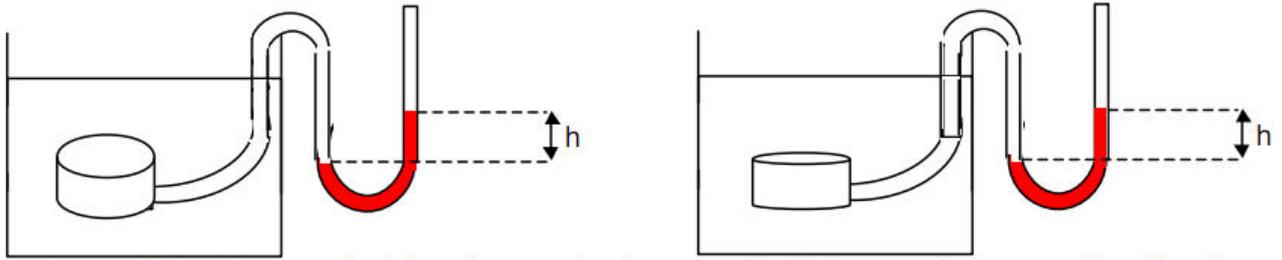
Plongeons la capsule manométrique dans l'eau.

Nous constatons que le niveau de liquide coloré monte.

La pression hydrostatique est la pression qui existe au sein d'un liquide.

6.2 Facteurs influençant la pression hydrostatique :

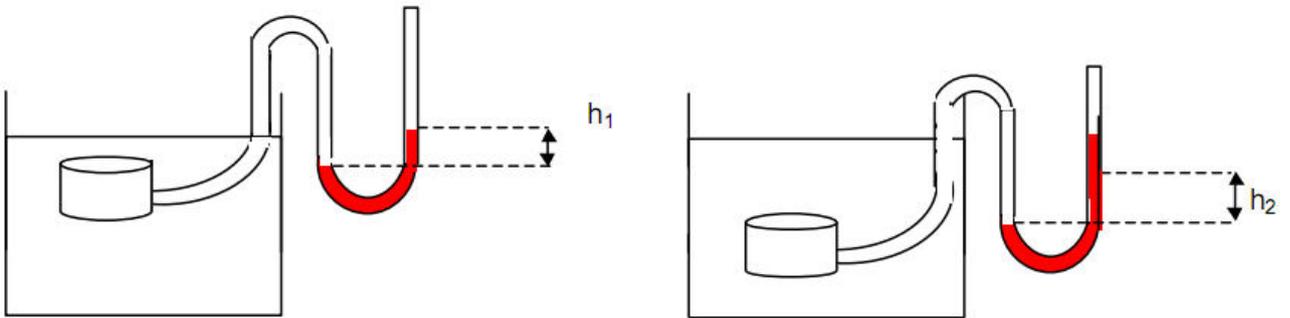
6.2.1 Etude du paramètre direction



Si on maintient la capsule à la même profondeur et qu'on la tourne dans toutes les directions, il n'y a pas de modification de la pression.

Le paramètre « direction » est-il un paramètre significatif de la pression hydrostatique ? Non.

6.2.2 Influence de la profondeur :



Si on enfonce la capsule de plus en plus profondément dans l'eau :

Variable contrôlée :

Variable dépendante :

Profondeur d'immersion P (cm)	Niveau du liquide h (cm)	P/h
0		
2		
5		
8		
10		

Graphique de la pression exercée sur le manomètre en fonction de la profondeur à laquelle il se trouve : Il est réalisé sur papier millimétré. Choisir les échelles. Indiquer les noms des grandeurs et leurs unités.

Observations :

Les points sont-ils (approximativement) alignés ?

Est-il possible de tracer une droite passant près des points ?

Conclusion du graphique : les grandeurs sont-elles proportionnelles ?

Si la droite peut être tracée, calculer son coefficient directeur. Indiquer son unité.

.....

Calcul du quotient de pression p par la profondeur h :

Placer les valeurs obtenues dans la 3^e colonne. Ne pas oublier d’indiquer l’unité (en tête de colonne).

Observation :

Le quotient :

Conclusion des calculs :

Les 2 grandeurs :

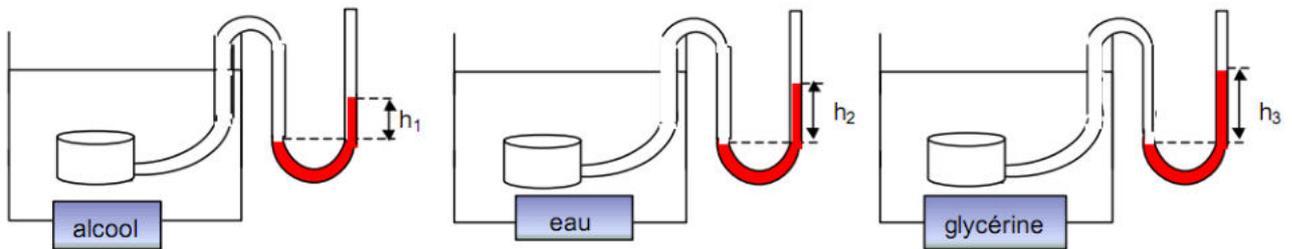
Si le quotient est approximativement constant, calculer la valeur moyenne. Indiquer son unité.

.....

Le paramètre « profondeur » est-il un paramètre significatif de la pression hydrostatique ? Oui.

6.2.3 Influence de la nature du liquide :

Si on enfonce la capsule dans des liquides de nature différente :



Si on enfonce la capsule dans des liquides de nature différente :

Variable contrôlée :

Variable dépendante :

Sachant que $\rho_{\text{eau}} : 1\ 000\ \text{kg/m}^3$; $\rho_{\text{glycérine}} = 1\ 226\ \text{kg/m}^3$; $\rho_{\text{alcool}} = 790\ \text{kg/m}^3$

Masse volumique du liquide ρ (kg/m^3)	Niveau de liquide h (cm)	p/ρ
790		
1 000		
1 226		

Graphique de la pression exercée sur le manomètre en fonction de la nature dans lequel il se trouve :

Il est réalisé sur papier millimétré. Choisir les échelles. Indiquer les noms des grandeurs et leurs unités.

Observations :

Les points sont-ils (approximativement) alignés ?

Est-il possible de tracer une droite passant près des points ?

Conclusion du graphique : les grandeurs sont-elles proportionnelles ?

Si la droite peut être tracée, calculer son coefficient directeur. Indiquer son unité.

.....

Calcul du quotient de pression p par la profondeur h :

Placer les valeurs obtenues dans la 3^e colonne. Ne pas oublier d’indiquer l’unité (en tête de colonne).

Observation :

Le quotient :

Conclusion des calculs :

Les 2 grandeurs :

Si le quotient est approximativement constant, calculer la valeur moyenne. Indiquer son unité.

.....

Le paramètre «masse volumique »est-il un paramètre significatif de la pression hydrostatique ? Oui.

Formulons la relation recherchée :

1. La pression est une grandeur indépendante de la direction ;
2. La pression dans un liquide est proportionnelle à la profondeur (h en mètre) ;
3. La pression dépend de la masse volumique du liquide (r en kg/m³) ;
4. (La pression dépend du champ de pesanteur mais nous ne pouvons pas le vérifier !)

$P = \rho_{liq} \cdot g \cdot h$	<p><i>P</i> Pression hydrostatique en Pa</p> <p>ρ_{liq} Masse volumique du liquide en kg/m³</p> <p><i>g</i> Champ de la pesanteur en N/kg</p> <p><i>h</i> Profondeur en m</p>
----------------------------------	--

7. Conséquences de la pression hydrostatique

- Les digues des rivières et des canaux subissent de la part de l'eau qu'ils contiennent de très fortes pressions. En période de crue, ces pressions peuvent atteindre des valeurs telles qu'elles rompent les digues et provoquent des inondations.



- Les murs des barrages ont une épaisseur croissante car la pression augmente avec la profondeur.

- Les parois des aquariums doivent être faites en verre épais.



- Les scaphandres doivent être d'autant plus résistants que les scaphandriers descendent plus profondément dans l'eau. Ci contre : casque d'un scaphandre.

- Dans les profondeurs des mers, la pression hydrostatique atteint des valeurs énormes.
 - Ex: à 1 000 m de profondeur : $P = \dots\dots\dots$ ($\rho_{\text{eau de mer}} = 1\,026 \text{ kg/m}^3$)
 - à 10 000 m de profondeur : $P = \dots\dots\dots$

- La profondeur de l'océan peut atteindre 11 000 m. Les poissons qui vivent dans les grandes profondeurs sont dotés d'organes capables de résister à des pressions importantes (grande pression à l'intérieur de l'organisme animal). Si on ramène rapidement en surface ces poissons, ils explosent par suite de la diminution rapide de la pression hydrostatique.



8. Problèmes

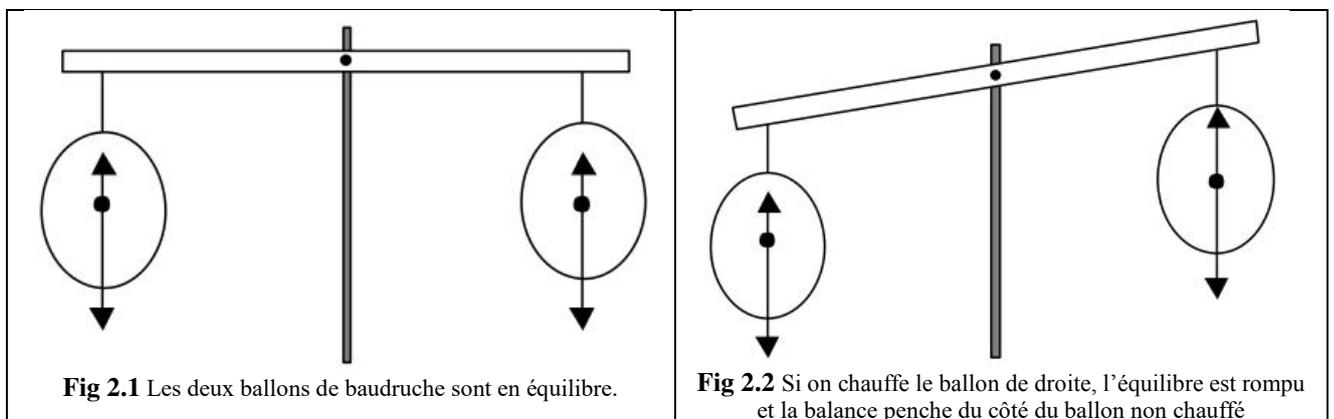
- Calculer la pression hydrostatique régnant à une profondeur de 50 m dans la mer
- Une éprouvette de 2 cm de diamètre contient du mercure sur une hauteur de 15 cm.
 - Quelle est la pression du mercure sur le fond ?
 - Quelle est la force pressante exercée par le mercure sur le fond ?
- Un réservoir de 2 m de long, 1 m de large et 1,5 m de haut contient de l'essence sur une hauteur de 1,2 m. Quelle est la valeur de la force pressante qui s'exerce sur le fond et la pression qui en résulte ?
- Un homme grenouille nage dans la mer du Nord ($\rho = 1\,025\text{ kg/m}^3$) à une profondeur de 20 m. Quelle est la pression de l'eau sur son corps ? Si le corps du nageur a une aire de 1 m^2 , quelle force pressante supporte-t-il ?
- Calculer la force pressante exercée sur un robinet de $2,5\text{ cm}^2$ de section par l'eau d'une canalisation de distribution sachant que la différence des niveaux entre le robinet et le niveau du château d'eau est de 50 m.
- On constate à la sortie d'un robinet, une pression de 60 N/cm^2 ($\rho = 1\,005\text{ kg/m}^3$). A quelle hauteur se trouve la surface libre de l'eau du château d'eau par rapport au robinet ?
- L'obturateur d'une baignoire a 5 cm de diamètre et la hauteur d'eau dans la baignoire est de 40 cm. Quelle force faut-il exercer sur la chaînette pour soulever l'obturateur afin de vider la baignoire ?

Activité 4 : force d'Archimède dans les gaz

1 Objectifs de l'activité

- Découvrir que le principe de la poussée d'Archimède est aussi applicable aux gaz (généralisation aux fluides)
- Transférer le théorème d'Archimède dans des applications quotidiennes
- Relier le principe de la poussée d'Archimède à la modélisation des fluides

2 Résumé de l'activité



Gonflons deux ballons de baudruche identiques. Suspendons-les aux extrémités d'une tige légère de 1 m de long. La tige peut tourner autour d'un axe horizontal passant par son milieu. Nous obtenons une espèce de

balance en équilibre. Chauffons un des ballons à l'aide d'un sèche-cheveux, tout en maintenant la balance immobile. Lâchons la tige. L'équilibre est rompu, le côté où se trouve le ballon chauffé monte.

C'est la poussée d'Archimède qui est la cause de ce phénomène. Les ballons subissent la force de pesanteur verticale vers le bas et la poussée d'Archimède verticale vers le haut. La poussée d'Archimède est inférieure à la force de pesanteur : si nous lâchons le ballon, il tombe. Ces forces sont représentées sur les schémas.

Au début, la barre est en équilibre. On chauffe le ballon de droite. À gauche, rien ne change. Le poids du ballon de droite ne change pas (l'air est enfermé, la masse ne peut donc varier).

L'air chaud se dilate (c'est la même chose pour l'eau, le fer des rails et pour la plus grande partie des matériaux). Le volume du ballon chaud augmente. La poussée d'Archimède qu'il subit augmente (la flèche qui la représente est plus longue). La barre est déséquilibrée.

Comme dans les liquides, dans un gaz, la poussée d'Archimède est égale au poids du volume de gaz déplacé (dont l'objet prend la place).

Comme la masse volumique de l'air est faible (de l'ordre de $1,3 \text{ kg/m}^3$), la poussée d'Archimède exercée par l'air passe généralement inaperçue. Mais elle existe et tout objet la subit. Si elle est plus grande que la force de pesanteur, l'objet monte. C'est ce qui arrive aux ballons gonflés à l'hélium et aux montgolfières ! Comment une montgolfière s'élève-t-elle, descend-elle ?

Les montgolfières, contrairement aux ballons gonflés à l'hélium, comportent une ouverture dans le bas.

L'air qu'ils contiennent peut donc en sortir, mais uniquement par le bas. Il est chauffé par un brûleur pour permettre au ballon de s'élever.



Fig 2.3 Montgolfière de 3400 m^3

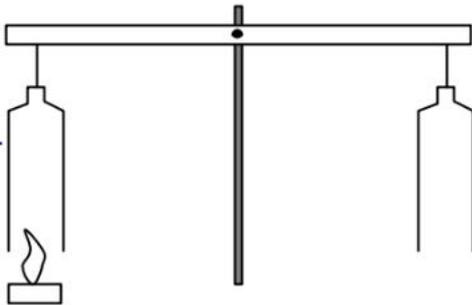


Fig 2.4 Deux bouteille en plastique.

Une expérience assez facile à réaliser permet de modéliser ce qui se passe dans ces ballons.

Coupons le bas de deux bouteilles en plastique de 1,5 L (bien sèches).

Suspendons-les, ouvertures vers le bas, aux extrémités d'une tige légère de 1 m de long, accrochée en son milieu. Nous obtenons une espèce de balance en équilibre. Plaçons une bougie allumée sous une des bouteilles. Quelques instants plus tard, l'équilibre est rompu, la bouteille où l'air chauffé s'élève...

L'explication du phénomène se fait en deux temps...

· Comme l'eau dans l'eau, « l'air ne pèse rien dans l'air ». Cela signifie, bien entendu, que l'air subit une poussée d'Archimède (force vers le haut) ÉGALE au poids de l'air dont il prend la place, donc à son propre poids (force vers le bas) ! Ces deux forces s'équilibrent, l'air ne monte pas, ne descend pas.

Ceci n'est en réalité vrai que pour l'air « normal », c'est-à-dire tout à fait identique à l'air ambiant.

Que se passe-t-il pour l'air plus chaud que l'air ambiant ?

Quand de l'air est chauffé (comme celui dans la bouteille ou dans la montgolfière), il se dilate. Il occupe un plus grand volume. Sa masse volumique (le quotient de la masse par le volume) diminue.

Un litre d'air chaud est plus léger qu'un litre d'air froid.

Un litre d'air chaud « immergé » dans l'air froid subit une poussée d'Archimède égale au poids d'un litre d'air froid. Cette poussée est donc plus grande que le poids de l'air chaud. La résultante de ces deux forces le pousse vers le haut. L'air chaud monte dans l'air froid.

· L'air de la bouteille chauffée, subissant une poussée d'Archimède supérieure à son poids est poussé vers le haut par l'air ambiant. Il pousse la bouteille vers le haut. La balance est déséquilibrée.

Quand une montgolfière descend trop, on allume le brûleur. L'air qu'elle contient est chauffé. Il se dilate (une partie sort du ballon par l'ouverture se trouvant en bas). Le poids de l'air dans le ballon diminue, devient inférieur à la force d'Archimède. Cela le pousse vers le haut. Il pousse le ballon vers le haut.

Quand cette poussée est supérieure au poids du ballon, la montée peut reprendre.

Pour descendre, il suffit de laisser l'air refroidir. Il se contracte (de l'air froid entre par le bas). L'air refroidi est plus lourd, il pousse de moins en moins le ballon vers le haut. Il est également possible d'ouvrir une soupape dans le haut du ballon pour laisser l'air chaud s'en échapper (de l'air froid prend sa place, rentrant par le bas). La descente est alors plus rapide.



Fig 2.5 Ballon météorologique gonflé à l'hélium. Certains de ces ballons sondes peuvent monter à 30 km d'altitude ?