

Préparation N2 – Cours théorique n°1

Le Principe d'Archimède

Sommaire

Sommaire

- Généralités page 02
 - Le principe d'Archimède page 03
 - La mise en évidence du principe d'Archimède page 04
 - Les conséquences du principe d'Archimède pour la plongée page 05
 - La relation entre « poids apparent » et flottabilité page 07
 - Annexe Niveau N2 vers N3 – Introduction de la notion de densité page 09
-

Généralités

Archimède

Mathématicien de l'antiquité, né à Syracuse, 287 / 212 avant JC.

Questions

Le principe d'Archimède permet de répondre aux questions suivantes :

- Pourquoi certains objets flottent et d'autres coulent ?
 - Pourquoi les bateaux en acier flottent ?
 - Pourquoi un scaphandre de plongée est plus lourd hors de l'eau que dans l'eau ?
 - Pourquoi un plongeur doit-il se lester lorsqu'il porte une combinaison de plongée ?
-

Applications pour la plongée

Pour un plongeur autonome, connaître le principe d'Archimède, lui permet de :

- Calculer son lestage pour une plongée en eau douce.
 - Calculer son lestage pour une plongée en eau de mer.
 - Calculer le volume nécessaire pour remonter un objet du fond.
-

Légende

Signification de certaines abréviations :

Abréviation	Signification
Papp	Poids apparent
Préel	Poids réel

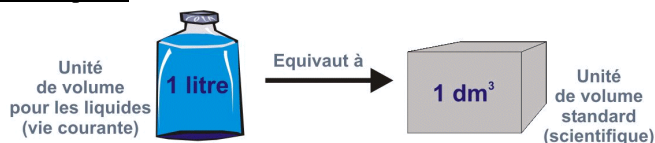
Abréviation	Signification
Parchi	Poussée d'Archimède

Le principe d'Archimède

Enoncé

Tout corps plongé dans un liquide reçoit une poussée verticale, dirigée du bas vers le haut, et égale au poids du volume de liquide déplacé.

Volume du liquide déplacé :



Formule :

Poids apparent = Poids réel – Poussée d'Archimède

Abréviations :

- Poids apparent → Papp
- Poids réel → Préel
- Poussée d'Archimède → Parchi



Illustration

Illustrons avec un bouteille de plongée :

- Le poids apparent est le poids que la bouteille a l'air d'avoir dans l'eau
- Le poids réel est le poids de la bouteille sur la terre ferme
- La poussée d'Archimède est le poids qu'aurait un volume d'eau égal au volume de la bouteille immergée

Exemple chiffré

Soit une bouteille de plongée pesant 16 kg au bord de la piscine. Son volume d'eau déplacé est égal à 12 litres.

- Quel est son poids apparent dans l'eau ?

Formule : Papp = Préel – Parchi

Au niveau N2, on prend 1 litre d'eau = 1 dm³ = 1 kg

$$Papp = 16 \text{ kg} - 12 \text{ kg} = 4 \text{ kg}$$

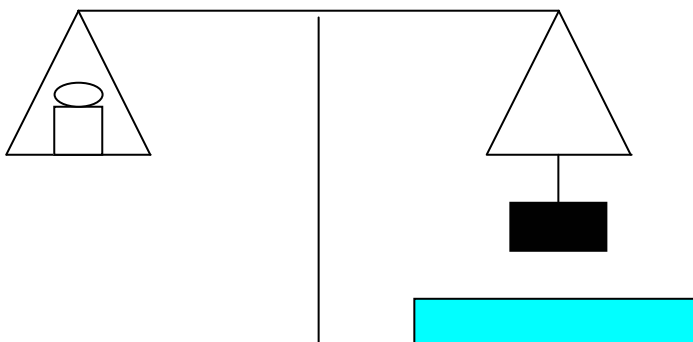
Le déplacement de cette bouteille immergée dans l'eau donne une impression qu'elle pèse un poids de 4 kg d'où le nom de poids apparent.

La mise en évidence du principe d'Archimède

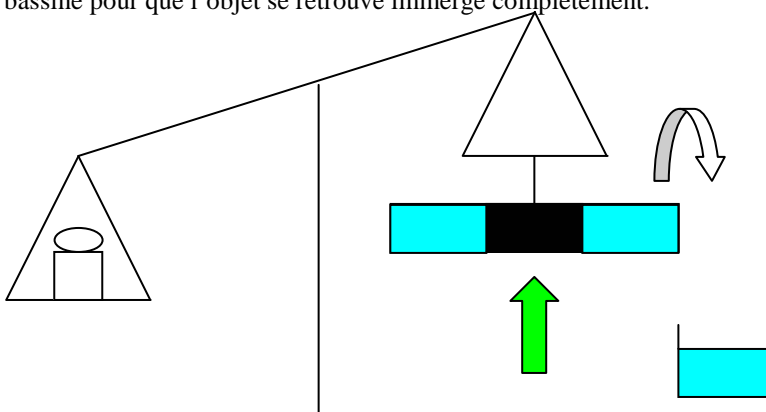
Mise en évidence

Faisons l'expérience suivante :

Soit une balance en équilibre, sous le plateau de droite qui soutient l'objet à mesurer (bloc noir), on place une bassine remplie d'eau à raz bord



On élève la bassine pour que l'objet se retrouve immergé complètement.

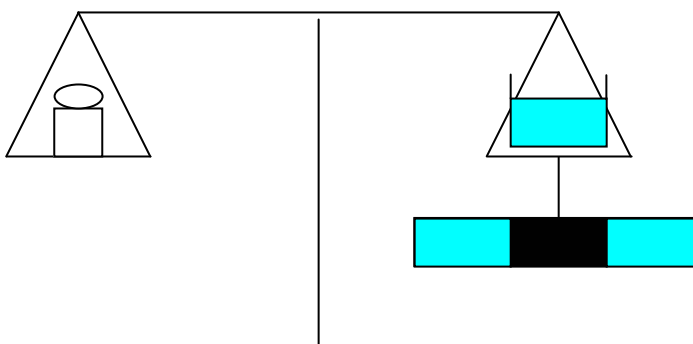


On recueille le volume d'eau qui déborde de la bassine dans un récipient et on constate que le plateau n'est plus en équilibre.

L'objet à mesurer reçoit une poussée dirigée vers le haut, c'est la poussée d'Archimède.

L'objet semble plus léger mais de combien ?

On place l'eau recueillie dans le plateau droit et la balance retrouve son équilibre.



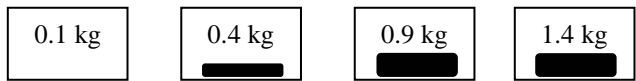
La poussée d'Archimède est donc bien égale au poids du volume de l'eau déplacée.

Les conséquences du principe d'Archimède pour la plongée

Expérience

Nous avons une boîte en plastique (type alimentaire) possédant un volume global de 1 dm^3 .
A vide, cette boîte pèse 100 grammes.

- Que se passe t-il si on la pose tout simplement sur l'eau ?
- Que se passe t-il si on la pose sur l'eau avec une charge à l'intérieur de :
 - 400 g ?
 - 900 g ?
 - 1.4 kg ?



Avec $1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ litre} = 1 \text{ kg}$

Formule : $P_{app} = P_{réel} - P_{archi}$

Cas 1 : pas de lest à l'intérieur de la boîte

$$P_{app} = 0.1 \text{ kg} - 1 \text{ kg} = -0.9 \text{ kg}$$

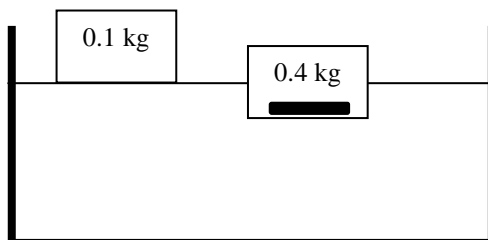
Poids apparent < 0

Cas 2 : lestage de 0.4 kg à l'intérieur de la boîte

$$P_{réel} = 0.1 \text{ kg} + 0.4 \text{ kg} = 0.5 \text{ kg}$$

$$P_{app} = 0.5 \text{ kg} - 1 \text{ kg} = -0.5 \text{ kg}$$

Poids apparent < 0



Le volume de la boîte posée sur l'eau est de 1 litre ou 1 dm^3

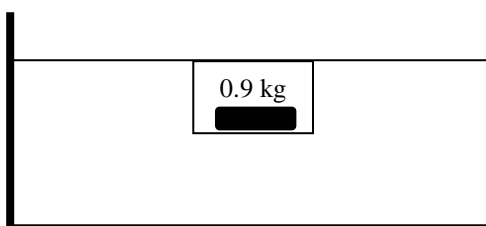
La boîte flotte

Cas 3 : lestage de 0.9 kg à l'intérieur de la boîte

$$P_{réel} = 0.1 \text{ kg} + 0.9 \text{ kg} = 1 \text{ kg}$$

$$P_{app} = 1 \text{ kg} - 1 \text{ kg} = 0$$

Poids apparent = 0



Le volume de la boîte posée sur l'eau est de 1 litre ou 1 dm^3

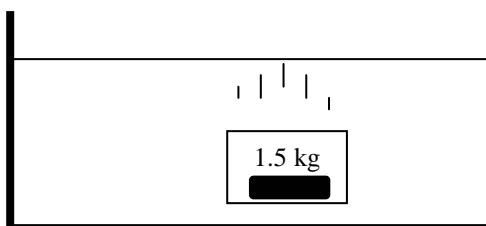
Entre deux eaux

Cas 4 : lestage de 1.4 kg à l'intérieur de la boîte

$$P_{réel} = 0.1 \text{ kg} + 1.4 \text{ kg} = 1.5 \text{ kg}$$

$$P_{app} = 1.5 \text{ kg} - 1 \text{ kg} = 0.5 \text{ kg}$$

Poids apparent > 0



Le volume de la boîte posée sur l'eau est de 1 litre ou 1 dm^3

La boîte coule

Les conséquences du principe d'Archimède pour la plongée

Conséquences

Pour un même volume, la flottabilité est liée au poids de l'objet.

Si ...	Alors ...
le poids de l'objet est inférieur au poids du volume d'eau déplacé l'objet reste en surface On dit que la flottabilité est « positive »

Exemple :

Un plongeur revêt une combinaison isothermique sans ceinture de plomb.

Si ...	Alors ...
Le poids de l'objet est égal au poids du volume d'eau déplacé l'objet reste entre deux eaux On dit que la flottabilité est « nulle »

Exemple :

C'est le cas pour un plongeur qui est au palier de 3 m avec un lestage correct.

Si ...	Alors ...
Le poids de l'objet est supérieur au poids du volume d'eau déplacé...	... l'objet coule On dit que la flottabilité est « négative »

Exemple :

C'est le cas du plongeur trop lesté.

Exemple 1

Une amphore a un poids de 32 kg sur terre pour un volume de 15 dm³.

- Quel sera le poids qu'elle aura l'air d'avoir dans l'eau (poids apparent), sachant qu'un litre d'eau pèse 1 kg ?
- Coule-t-elle ou flotte-t-elle ?

Réponse :

Formule de la Poussée d'Archimède

Poids apparent = Poids réel – Poussée d'Archimède

Avec pour l'eau : 1 dm³ = 1 litre = 1 kg

$P_{app} = 32 \text{ kg} - 15 \text{ kg} = 17 \text{ kg}$

Le poids apparent est de signe « positif » puisque supérieur à zéro, donc l'amphore coule.

Exemple 2

Un plongeur bricole un boîtier vidéo. Son volume est de 5 dm³ pour un poids de 4 kg. Il désire l'équilibrer.

- Quel lest doit-il ajouter sachant qu'un litre d'eau a une masse de 1 kg ?

Réponse :

Formule de la poussée d'Archimède

Poids apparent = Poids réel – Poussée d'Archimède

Avec pour l'eau : 1 dm³ = 1 litre = 1 kg

$P_{app} = 4 \text{ kg} - 5 \text{ kg} = -1 \text{ kg}$

Le poids apparent est « négatif » puisque inférieur à zéro, donc le boîtier flotte
Pour que le boîtier soit équilibré dans l'eau, il faut lui rajouter 1 kg de lest.

La relation entre « poids apparent » et flottabilité

Principe

Trois situations peuvent se présenter :

- le poids apparent est positif
- le poids apparent est nul
- le poids apparent est négatif

Si le poids apparent est positif :

L'objet coule, sa flottabilité est négative.

Le poids réel est supérieur à la poussée d'Archimède. (Poids réel > Poussée Arch.)

C'est le cas des clefs de voiture qui tombent dans l'eau.

Si le poids apparent est nul :

L'objet ne coule pas et ne remonte pas, il est en équilibre.

Le poids réel est égal à la poussée d'Archimède. (Poids réel = Poussée Arch.)

C'est le cas du plongeur qui se stabilise avec sa STAB entre deux eaux.

Si le poids apparent est négatif :

L'objet remonte, sa flottabilité est positive.

Le poids réel est inférieur à la poussée d'Archimède. (Poids réel < Poussée Arch.)

C'est le cas d'un bateau qui flotte.

Remarque

Dans le cas d'un objet qui flotte, deux facteurs vont jouer :

- Le poids réel de l'objet dépendra de son poids apparent.
 - Le volume de l'objet dépendra de sa poussée d'Archimède.
-

Application à la plongée

En plongée, on retrouve le principe d'Archimède dans de nombreux cas :

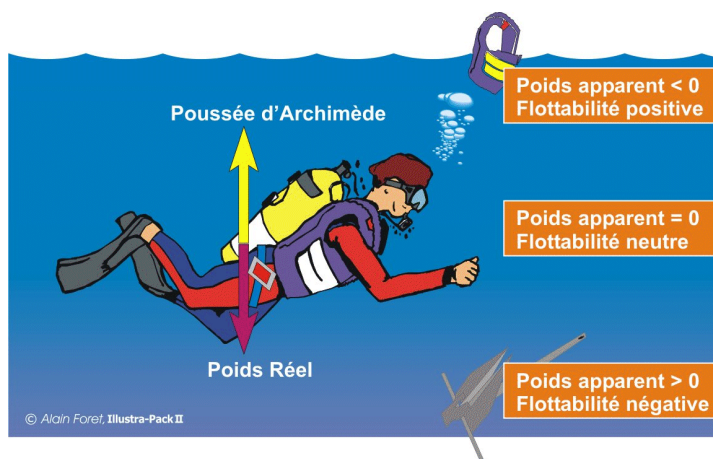
- le choix du lestage
- l'utilisation de son gilet stabilisateur
- l'utilisation d'un ballon pour remonter des objets
- l'utilisation du parachute de paliers

Exemple :

Lorsqu'un plongeur correctement équilibré gonfle ses poumons (technique dite du poumon ballast), il augmente son volume, donc sa poussée d'Archimède, donc il remonte.

Si au contraire, il vide ses poumons, son volume diminue, son poids apparent augmente et il coule.

Illustration



La relation entre « poids apparent » et flottabilité, suite

Rôle de la ceinture de lest

Un plongeur en maillot pèse 70 kg pour un volume de 69 litres.

Il met sa combinaison qui pèse 1 kg pour un volume de 8 litres.

Sa bouteille pèse 16 kg pour un volume de 12 litres.

Question :

Ce plongeur va-t-il flotter ou couler ?

Réponse :

Calcul du poids réel :

Préel = 70 (plongeur) + 1 (combinaison) + 16 (bouteille) = 87 kg

Calcul du volume :

V = 69 (plongeur) + 8 (combinaison) + 12 (bouteille) = 89 litres

La poussée d'Archimède est le poids du volume déplacé, donc la poussée d'Archimède est de 89 kg.

Calcul du poids apparent :

$P_{app} = \text{Préel} - P_{Arch} = 87 \text{ kg} - 89 \text{ kg} = - 2 \text{ kg}$

Le poids apparent est négatif de 2 kg. On dit alors que sa flottabilité est positive de 2 kg. Comme la poussée d'Archimède est supérieure au poids réel, il va flotter.

Conclusion :

S'il veut pouvoir s'immerger sans faire trop d'effort, il lui faudra un lest de 2 kg qui lui permettront de compenser sa flottabilité. **La ceinture de plomb est utilisée pour compenser la flottabilité du plongeur** et non pour « couler » comme on l'entend trop souvent.

Rôle de la Stab

Un plongeur débutant, en eau douce, est sur lesté. En fin de plongée, il n'arrive pas à se maintenir à la surface.

Son poids réel est de 88 kg et son volume est de 75 litres / dm³.

- Quel volume d'air doit-il introduire dans la Stab pour obtenir une flottabilité positive ?

Réponse :

Formule de la Poussée d'Archimède

Poids apparent = Poids réel – Poussée d'Archimède

Et

Poussée d'Archimède = Volume x densité du liquide ambiant

Calcul de la Poussée d'Archimède

Poussée d'Archimède = 75 litres x 1 = 75 kg

Calcul du poids apparent :

$P_{app} = 88 \text{ kg} - 75 \text{ kg} = 13 \text{ kg}$

Le poids apparent est positif, donc sa flottabilité est négative, il coule. Pour obtenir une flottabilité nulle, il faut qu'il introduise dans sa Stab l'équivalent de 8 kg.

1 dm³ = 1 litre qui équilibre 1 kg

Pour équilibrer 8 kg il lui faudra introduire 8 litres d'air dans sa Stab.

Pour avoir une flottabilité positive, il lui faudra introduire un peu plus de 8 litres.

Annexe Niveau N2 vers N3 – Introduction de la notion de densité

Définition

La densité d'un corps est le rapport entre la masse et celle d'un autre corps choisi comme référence, occupant le même volume.

La densité s'exprime sans unité, c'est une grandeur sans dimension.

Remarque :

Dans le cas des solides et des liquides, la référence est l'eau douce à 4 degré.

Formule :

Densité = Masse d'un volume d'un liquide ou d'un solide / Masse du même volume en eau

Références

Pour les solides et les liquides :

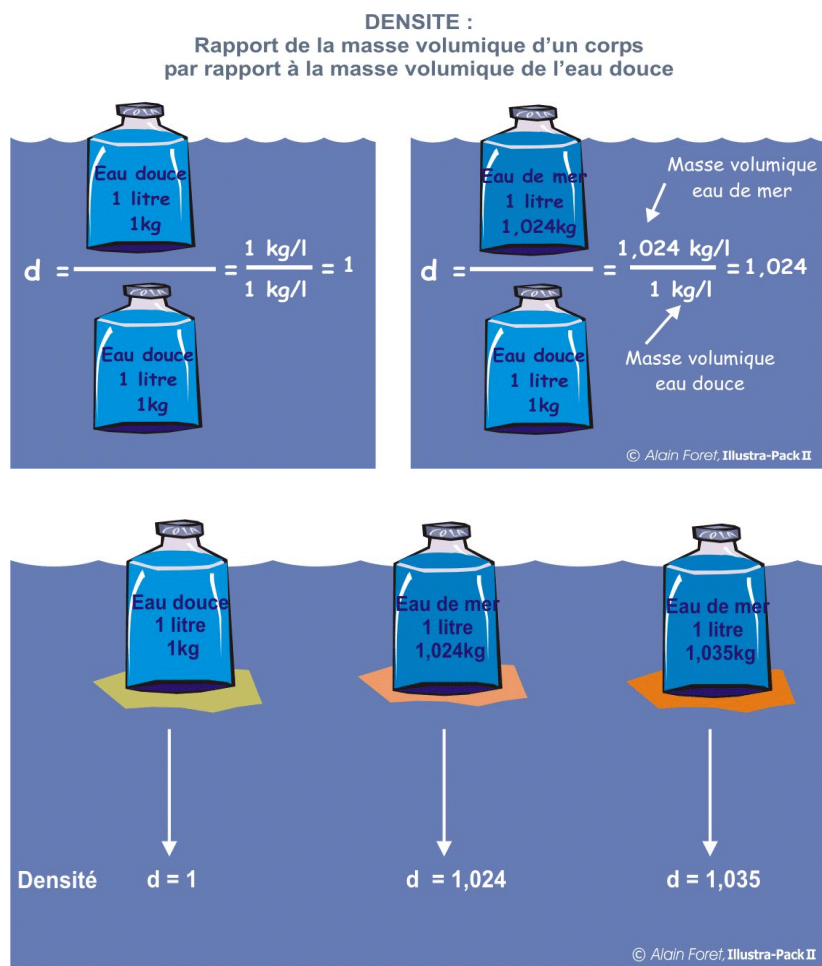
- la référence est l'eau douce à 4 degré

Pour les gaz :

- la référence est l'air (A la même température et la même pression que le gaz étudié)

Illustration

Différence de densité entre l'eau douce et l'eau de mer :



Annexe Niveau N2 vers N3 – Introduction de la notion de densité, suite

Exemple avec un solide

Avec le plomb :

- La masse de 1 dm^3 de plomb est égale à 11.3 kg
- La masse de 1 dm^3 d'eau douce est égale à 1 kg
- La densité du plomb (par rapport à l'eau) est égale à : $11.3 / 1 = 11.3$

Exemple avec un gaz

Avec le gaz carbonique :

- La masse de 1 dm^3 de gaz carbonique est égale à 1.96 g (à 0° et sous un bar)
- La masse de 1 dm^3 d'air est égale à 1.29 g (à 0° et sous un bar)
- La densité du gaz carbonique (par rapport à l'air) est égale à : $1.96 / 1.29 = 1.52$

Principe d'Archimède

Formule :

Poids apparent = Poids réel – Poussée d'Archimède

Avec :

- Poids réel = Volume x densité de l'objet
- Poussée d'Archimède = Volume x densité du liquide

Clarifications complémentaires pour un plongeur :

- Le poids apparent est le poids que le corps a l'air d'avoir dans l'eau
- Le poids réel est le poids du plongeur sur la terre ferme
- La poussée d'Archimède est le poids qu'aurait un volume d'eau égal au volume du corps du plongeur immergé
- La densité de l'objet est liée à sa masse volumique
- La densité de l'eau correspond au poids de 1 dm^3 ou de 1 litre d'eau

Eau douce	Densité = 1
Eau de mer	Densité = $1.026 \approx 1.03$
Eau de la « mer morte »	Densité = 1.6

Exemple

Un plongeur pèse 70 kg, son volume est de 75 litres par dm^3 . Il désire plonger en lac et en mer.

- Quel doit être son lestage pour obtenir un poids apparent nul pour plonger en lac et en mer ?

La densité de l'eau douce est de 1, et de l'eau de mer est de 1.03.

Réponse :

Formule de la poussée d'Archimède

Poids apparent = Poids réel – Poussée d'Archimède

Et

Poussée d'Archimède = Volume x densité du liquide ambiant

Calcul de la Poussée d'Archimède en eau douce :

Poussée d'Archimède = 75 litres x 1 = 75 kg

Calcul de la Poussée d'Archimède en eau de mer :

Poussée d'Archimède = 75 litres x 1.03 = 77.25 kg

Calcul du poids apparent en eau douce :

$P_{\text{app}} = 70 \text{ kg} - 75 \text{ kg} = - 5 \text{ kg}$

Calcul du poids apparent en eau de mer :

$P_{\text{app}} = 70 \text{ kg} - 77.25 \text{ kg} = - 7.25 \text{ kg}$

Le résultat du poids apparent est négatif, la flottabilité est donc positive dans les deux cas, il flotte.

En eau douce, le plongeur a besoin de 5 kg de lestage pour avoir un équilibre nul.

En eau de mer, le plongeur a besoin de 7.25 kg de lestage pour avoir un équilibre nul.