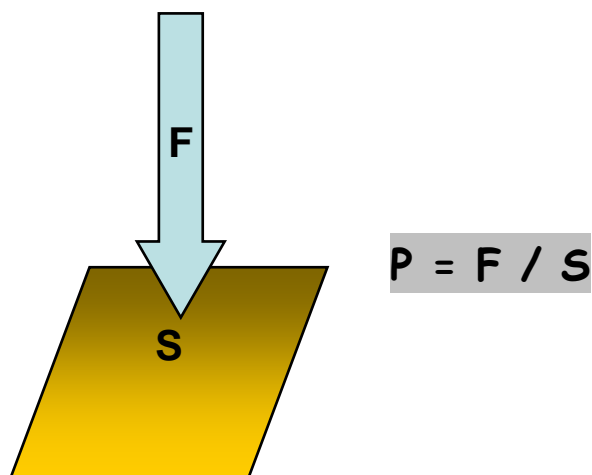


PHYSIQUE N4

1 PRESSIONS

1.1 Définition :

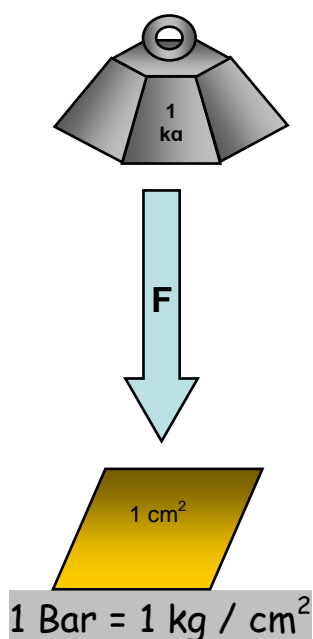
Quand une force s'exerce sur une surface il en résulte une pression.



La pression est d'autant plus grande que :

- 1) La force exercée est grande
- 2) La surface est petite

En plongée nous utilisons le **Bar** comme unité de pression.



Il existe d'autre grandeurs :

$1 \text{ bar} = 1 \text{ kg} / \text{cm}^2 = 760 \text{ mmHg} = 1000 \text{ HPa} = 1000 \text{ mbar}$

1.2 En plongée nous utilisons différentes pressions :

La pression atmosphérique :

Elle correspond au poids de l'air au dessus de nous.

La pression hydrostatique :

Elle correspond au poids de l'eau au dessus de nous.

La pression absolue :

Elle résulte des 2 pressions précédentes.

1.3

1.4 Pression hydrostatique

Comme 1 colonne d'eau de 10m de haut sur 1 cm² = 1 kg
Il s'exerce 1 bar de pression d'eau (appelée pression hydrostatique)
tous les 10m.

Formule :

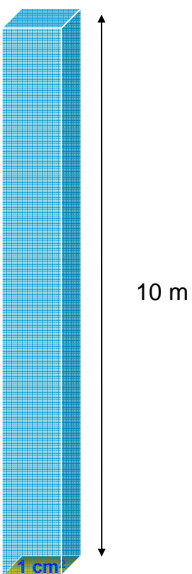
$$P_{\text{hydro}} = H / 10$$

Avec H hauteur d'eau en mètres

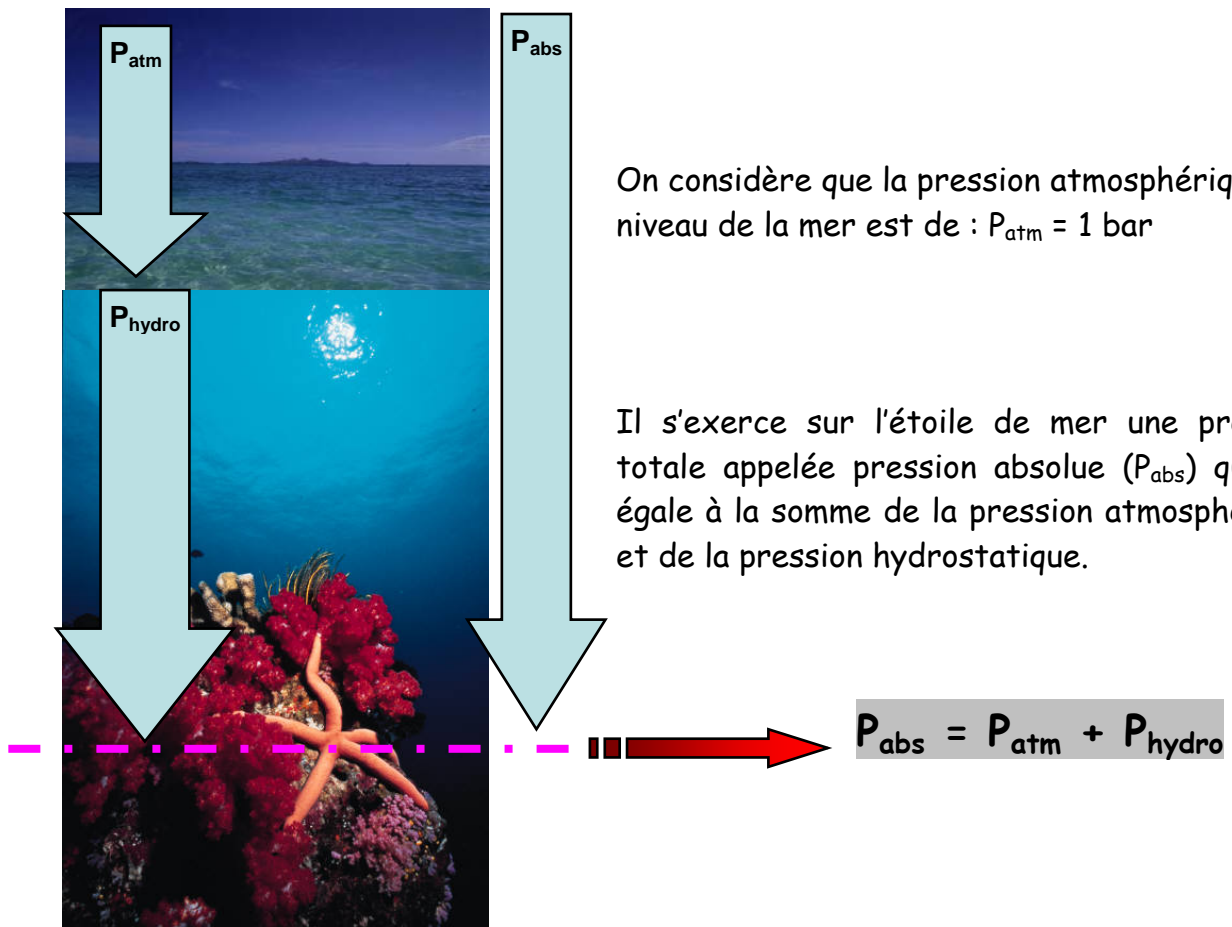
Exemple :

À 23 m la pression est de 2,3 bars

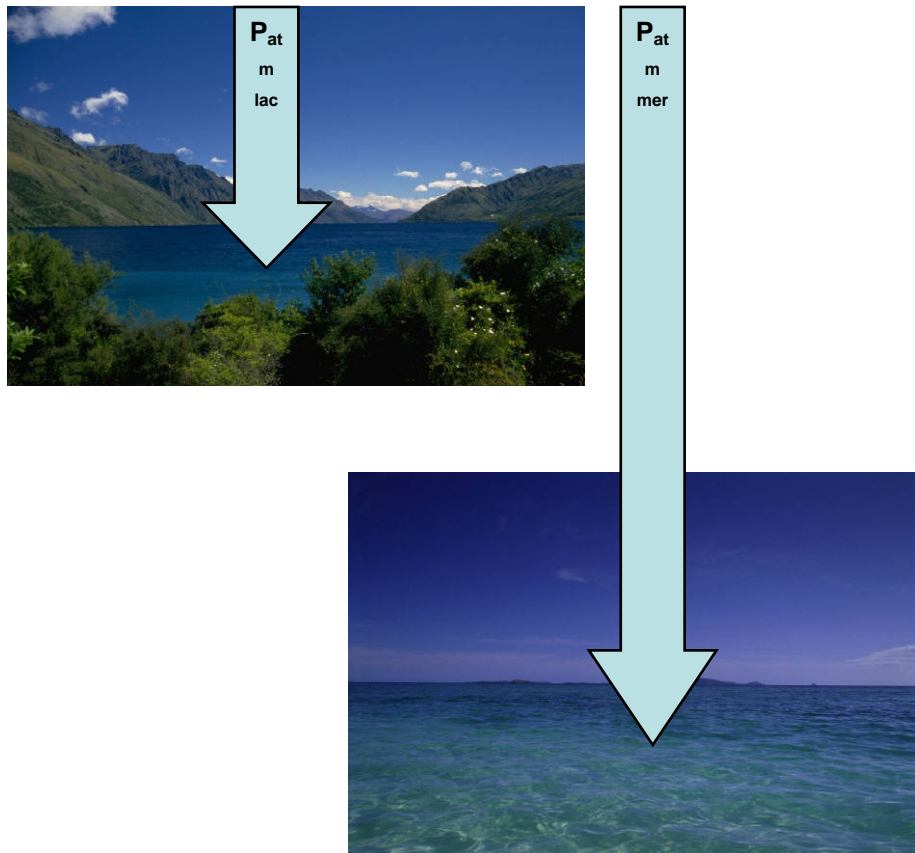
Calcul : $23 / 10 = 2,3$



1.5 Pression absolue



1.6 Pressions et altitude



En altitude la pression atmosphérique est plus petite qu'au niveau de la mer

- ▶ Pabs différente pour la même profondeur d'immersion.
- ▶ Lecture des instruments.
- ▶ Procédures de décompression différentes.

EXERCICES

- 1) Un plongeur s'immerge à 37m en mer
 - a) Quelle est la pression hydrostatique à cette profondeur?
 - b) Quelle est la pression absolue à cette profondeur?

- 2) Un plongeur s'immerge à 37m dans un lac où la pression atmosphérique est de 608 mmHg
 - a) Convertissez la pression atmosphérique en bar.
 - b) Quelle est la pression absolue à cette profondeur?

REPONSES

1) Un plongeur s'immerge à 37m en mer

a) $P_{\text{hydro}} = 37/10 = 3,7$ bars

b) $P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{hydro}} = 1 + 3,7 = 4,7$ bars

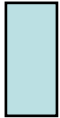





2) Un plongeur s'immerge à 37m dans un lac ou la pression atmosphérique est de 608 mmHg

a) $P_{\text{atm}} = 608 / 760 = 0,8$ bar

b) $P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{hydro}} = 0,8 + 3,7 = 4,5$ bars

2 BOYLE - MARIOTTE

Expérience

		VOLUMES	PRESSIONS		V x P
En surface		10 litres	1 bar		$10 \times 1 = 10$
À 10 m		5 litres	2 bar		$5 \times 2 = 10$
À 40 m		2 litres	5 bar		$2 \times 5 = 10$

2.1 Énoncé :

À température constante, le volume occupé par un gaz est inversement proportionnel à la pression qu'il subit.

En clair :

$$P \times V = \text{Constante}$$

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

2.2 Applications à la plongée :

- ▶ Accidents de plongée liés aux variations de volumes
- ▶ Stabilisation (utilisation du gilet)
- ▶ Gonflage des blocs
- ▶ Consommation d'air
- ▶ Certains types de profondimètres mécaniques

EXERCICE 1

Un plongeur met 10 litres d'air dans son gilet à 30 mètres. S'il remonte à 10 m combien d'air devrait contenir le gilet ?

REPOSE :

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

$$P_1 = 4 \text{ b (pression absolue à 30m)} ; P_2 = 2 \text{ b (pression absolue à 10m)}; V_1 = 10 \text{ l}$$

$$4 \times 10 = 40 = 2 \times V_2$$

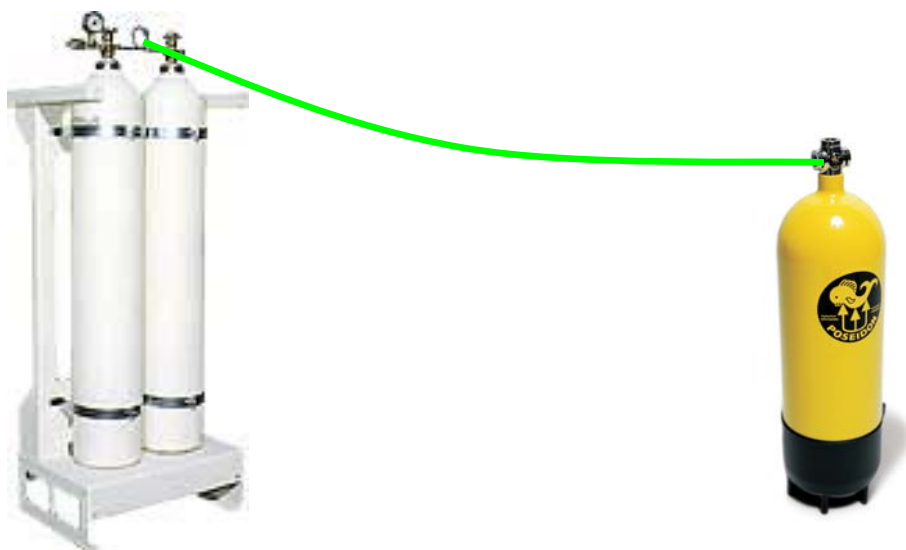
$$\rightarrow V_2 = 40 / 2 = 20 \text{ l}$$

EXERCICE 2

On dispose de 2 blocs tampons de 50 l chacun, tous 2 gonflés à 200 bars.
On veut gonfler un bloc de 10 l dans lequel la pression résiduel est de 20 bars.

Quelle méthode utiliseriez vous pour gonfler les blocs à pression maximale ?

- 1) Gonflage sur les 2 tampons en même temps.
- 2) Gonflage successif sur un tampon, puis l'autre.



REPONSE:

1) Les tampons gonflent en même temps le bloc.

Avec :

P_1 pression de départ dans les tampons

P_2 pression de départ dans le bloc

P_f pression finale (les tampons et le bloc sont à la même pression)

V_T volume total des tampons soit 2×50 litres = 100 litres

$$P_1V_T + P_2V_2 = P_fV_T + P_fV_2$$

$$(200 \times 100) + (20 \times 10) = P_f(100 + 10)$$

$$P_f = \frac{(200 \times 100) + (20 \times 10)}{(100 + 10)}$$

$$P_f = 183,6 \text{ bars}$$

2) Le bloc est gonflé en 2 étapes.

1^{ère} étape on gonfle le bloc sur le 1^{er} bloc tampon.

$$P_1V_1 + P_2V_2 = P_{f1}V_1 + P_{f1}V_2$$

$$(200 \times 50) + (20 \times 10) = P_{f1}(50 + 10)$$

$$P_{f1} = \frac{(200 \times 50) + (20 \times 10)}{(50 + 10)}$$

$$P_{f1} = 170 \text{ bars}$$

2^{ème} étape on continue de gonfler le bloc sur le 2^{ème} bloc tampon.

$$P_1V_1 + P_{f1}V_2 = P_{f2}V_1 + P_{f2}V_2$$

$$(200 \times 50) + (170 \times 10) = P_{f2}(50 + 10)$$

$$P_{f2} = \frac{(200 \times 50) + (170 \times 10)}{(50 + 10)}$$

$$P_{f2} = 195 \text{ bars}$$

La 2^{ème} méthode est plus efficace que la première, le bloc étant plus gonflé (195 bars au lieu de 183,6 bars).

2.3 CONSOMMATION - AUTONOMIE:

En plongée l'air est délivré par le détendeur à la pression ambiante, donc à la pression absolue.

Plus nous plongeons profond plus notre consommation d'air sera importante, le temps de plongée sera donc plus court.

EXEMPLE :

Si à la surface je consomme 18 litres/minute, à 30 m la pression absolue étant de 4 bars je consommerai $18 \times 4 = 72$ litres/min, Ma consommation est 4 fois plus importante.

EXERCICE :

Pour une consommation estimée à 20 litres/min (estimé en surface), bloc de 15 l gonflé au départ à 200 bars et une réserve tarée à 50 bars, quelle sera l'autonomie pour une plongée à 45 mètres? (On néglige le temps de descente à cette profondeur)

REPONSE :

A 45 m, $P_{abs} = 5,5$ bars

consommation : $20 \times 5,5 = 110$ litres/min

volume d'air disponible : $P \times V = (200 - 50) \times 15 = 2250$ litres

autonomie :

C'est le temps qu'il me faudra pour consommer l'air à ma disposition

$2250 / 110 = 20,45$ min

2.4 INSTRUMENTS ET ALTITUDE

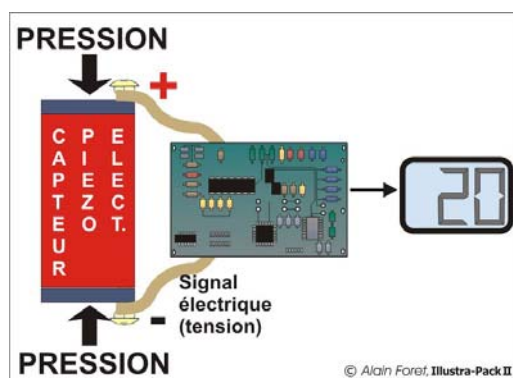
La profondeur affichée par les instruments peut varier selon la technologie utilisée.

Il existe 3 grandes familles d'appareils :

- Les appareils électroniques (profondimètres et ordinateurs)
- Les appareils mécanique (à tube de Bourdon)
- Les appareils à capillaire

LES APPAREILS ELECTRONIQUES:

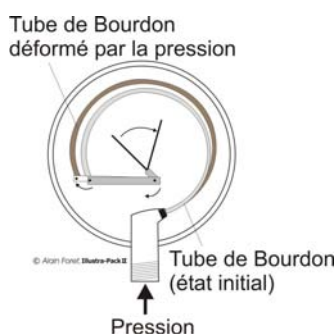
Ils indiquent la profondeur réelle, selon les appareils il est parfois nécessaire de régler l'altitude à laquelle on se trouve avant de plonger.



LES APPAREILS A TUBE DE BOURDON:

Un tube de Bourdon se déforme sous la pression subie, il suffit de rajouter un aiguille pour afficher la pression (manomètre) ou la profondeur (profondimètre).

- Les profondimètres de ce type sont étalonnés pour se déclencher au-delà d'un bar de pression, en altitude ils ont un « retard » correspondant à la différence entre 1bar et la pression atmosphérique.

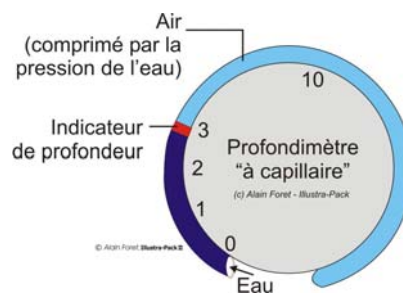


LES PROFONDIMETRES A CAPILLAIRE:

Ces appareils contiennent de l'air à la pression atmosphérique dont le volume diminue quand la pression augmente (Mariotte).

Prévu pour fonctionner en mer, ils indiquent 10m quand la pression double, 20m quand elle triple. Or en altitude quand la pression double la profondeur atteinte n'est pas 10m.

Ces instruments n'indiquent pas la profondeur réelle mais la profondeur équivalente mer.



EXERCICE :

Un plongeur s'immerge à 42,5 m dans un lac où la pression atmosphérique est de 646 mmHg

- Convertissez la pression atmosphérique en bar.
- Quelle profondeur indiquera son profondimètre s'il utilise :
 - Un profondimètre électronique,
 - Un profondimètre à tube de Bourdon,
 - Un profondimètre à capillaire ?

REPONSE :

a) $P_{atm} = 646 / 760 = 0,85 \text{ bar}$

b) profondimètre électronique :

Profondeur lue = profondeur réelle = 42,5 m

profondimètre à tube de Bourdon :

$$\text{Retard} : 1 \text{ b} - 0,85 \text{ b} = 0,15 \text{ b}$$

$$\rightarrow \text{retard} = 1,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Profondeur lue} &= \text{profondeur réelle} - \text{retard} \\ &= 42,5 \text{ m} - 1,5 \text{ m} = 41 \text{ m} \end{aligned}$$

profondimètre à capillaire :

$$P_{\text{atm}} = 0,85 \text{ b}$$

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{hydro}} = 0,85 + 4,25$$

$$P_{\text{abs}} = 5,1 \text{ b}$$

P_{abs} est 6 fois plus grande que P_{atm} ($5,1 / 0,85 = 6$)

Rapportée à la mer : $P_{\text{abs}} = 6 \times P_{\text{atm}} = 6 \times 1 = 6 \text{ bars}$

Profondeur mer = profondeur lue = 50 m

3 GAY LUSSAC

3.1 Énoncé :

À volume constant la pression d'un volume de gaz donné varie proportionnellement à la température.

En clair :

$$P_1 / T_1 = P_2 / T_2$$

Avec :

P1 : pression initiale en bar

T1 : température initiale en Kelvin

P2 : pression finale en bar

T2 : température finale en Kelvin

0 K = -273° C 20° C = 293 K

3.2 Application à la plongée :

- Si la température varie alors la pression à l'intérieur d'un bloc variera. Par conséquent le volume de gaz à disposition du plongeur dépendra de la température extérieure. (autonomie)
- Si la pression augmente dans un bloc la température du gaz augmente. Un bloc chauffe quand on le gonfle.
- Si la pression diminue dans un bloc la température du gaz diminue. Un bloc se refroidit quand on le vide.
Givrage des détendeurs (la détente d'un gaz produit du froid).

EXEMPLE :

Après avoir été gonflé à 230 bars un bloc de 15l est à une température de 37°C. Une fois rangé sa température redescend à 23,5°C.

- Quelle pression indiquera un manomètre quand un plongeur vérifiera le bloc avant de plonger ?

REPONSE :

$$T1 = 273+37 = 310^{\circ} K$$

$$T2 = 273+23,5 = 296,5^{\circ} K$$

$$V1 = 15 \text{ litres}$$

$$P2 = (P1 \times T2) / T1$$

$$P2 = (230 \times 296,5) / 310$$

$$P2 = 220 \text{ bars}$$

EXERCICE :

Après le gonflage de votre bouteille de plongée à 200 bars (pression absolue), la température du bloc est de 37° C.

Avant de plonger, la température du bloc est passée à 13° C.

1) Quelle est la nouvelle pression absolue de votre bouteille ?

2) A l'issue de votre plongée, il reste 78 bars dans votre bloc (toujours à 13 ° C).

Exposée au soleil, la pression de la bouteille atteint 90 bars.

Quelle est la température de votre bouteille ?

REPONSE :

$$1) P1 = 200 \text{ b} ; T1 = 37^{\circ} C = 310 \text{ K} ; T2 = 13^{\circ} C = 286 \text{ K}$$

$$P1/T1 = P2/T2$$

$$P2 = (P1 \times T2) / T1 = (200 \times 286) / 310$$

$$P2 = 184,5 \text{ bars}$$

$$2) P1 = 78 \text{ b} ; T1 = 13^{\circ} C = 286 \text{ K} ; P2 = 90 \text{ b}$$

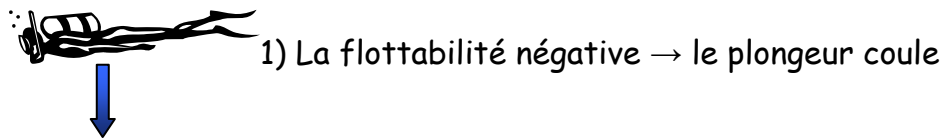
$$P1/T1 = P2/T2$$

$$T2 = (T1 \times P2) / P1 = (286 \times 90) / 78$$

$$T2 = 330 \text{ K} = 57^{\circ} C$$

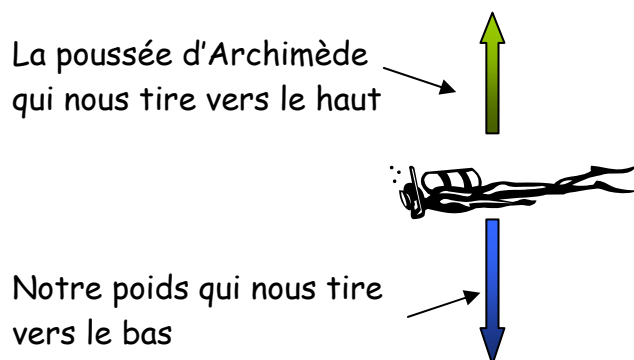
4 FLOTTABILITÉ - RELEVAGE

En plongée nous avons 3 types de flottabilité possibles.



Pourquoi existe-t-il ces différentes flottabilités ?

Dans l'eau nous sommes soumis à différentes forces :

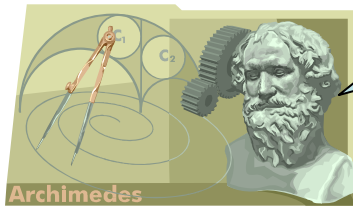


Si notre poids est plus grand que la poussée d'Archimède, la flottabilité est négative → le plongeur descend.

Si notre poids est plus petit que la poussée d'Archimède, la flottabilité est négative → le plongeur flotte.

Si notre poids est égal à la poussée d'Archimède, la flottabilité est nulle → le plongeur est stabilisé.

4.1 Que dit Archimède ?



Tout corps plongé dans un liquide, reçoit de la part de celui-ci, une poussée verticale, dirigée de bas en haut, égale au poids du liquide déplacé

4.2 Utilisation en plongée :

Poids Apparent = Poids réel - Poussée d'Archimède

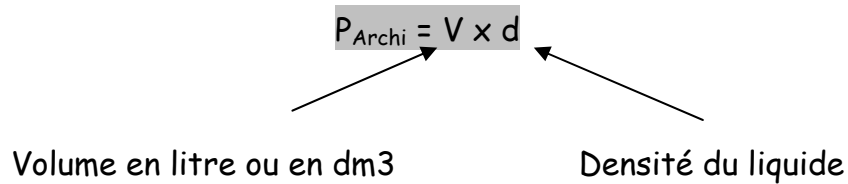
$$P_{\text{App}} = P_{\text{réel}} - P_{\text{Archi}}$$

Le poids apparent étant le poids que semble peser un objet dans l'eau

Si le Poids Apparent est :

- Positif (> 0) → le corps est entraîné vers le fond
- Négatif (< 0) → le corps est entraîné vers la surface
- Nul ($= 0$) → le corps est en équilibre

4.3 Comment déterminer la poussée d'Archimède ?



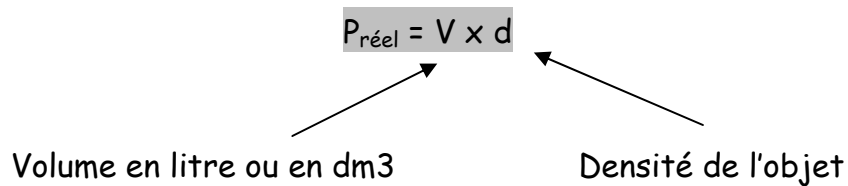
Densité de l'eau douce → $d = 1$

Densité de l'eau de mer → $d = 1,03$

4.4 Comment déterminer le poids réel d'un objet ?

Soit on connaît son poids.

Soit on le calcule :



Densité du plomb → $d = 11,3$

4.5 Application à la plongée :

- Flottabilité, gilet stabilisateur, combinaison.
- Poumon ballast.

Conséquences :

- La flottabilité varie avec la profondeur (variation des volumes des gaz → gilet, combinaison)
- Lestage (différent entre l'eau douce et l'eau de mer)

EXERCICE 1

Un plongeur équipé a un volume de 100 dm³ a une masse de 99 kg.

Immergé dans de l'eau douce, quel est son poids apparent ? Que se passe-t-il ?

Même question dans l'eau de mer.

Comment doit être son lestage ?

Densité eau douce = 1

Densité eau de mer = 1,03

REPONSE EXERCICE 1

Eau douce

$$P_{\text{app}} = 99 - (100 \times 1)$$

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

Le plongeur flotte, il doit rajouter 1kg de lest

Eau de mer

$$P_{\text{app}} = 99 - (100 \times 1,03)$$

$$P_{\text{app}} = -4$$

Le plongeur flotte, il doit rajouter 4 kg de lest

C'est pourquoi on se leste plus en mer qu'en eau douce

EXERCICE 2

La masse d'un boîtier de caméra est égal à 3 kg son volume est de 5 litres. On dispose d'un lest en plomb de densité 11,3

Quelle est la masse de lest à ajouter pour que le poids apparent du boîtier soit nul en eau douce ($d = 1$)

- Le lest étant placé à l'intérieur du boîtier,
- Le lest étant placé à l'extérieur du boîtier.

REPOSE EXERCICE 2

$$P_{\text{app}} \text{ sans lest} : P_{\text{app}} = 3 - 5 = -2$$

Il faut rajouter 2 kg

Si on le met à l'intérieur le volume total n'est pas modifié :

→ Il faut rajouter 2kg de plomb.

Si on le met à l'extérieur le volume est modifié

$$P_{\text{app}} = P_{\text{réel total}} - P_{\text{Archi total}}$$

$$P_{\text{app}} = (3 + V \times d_{\text{pb}}) - (5 + V \times d_{\text{eau}}) = 0$$

$$0 = -2 + 10,3 \times V \rightarrow V = 0,194 \text{ l}$$

$$P = V \times d_{\text{pb}} = 0,194 \times 11,3 = 2,18 \text{ kg de plomb.}$$

EXERCICE 3

Une ancre de 50 kg et dont le volume est de 10 litres, repose sur un fond de 40 m (eau douce)

Pour la remonter un plongeur y accroche un parachute dans lequel il introduit 20 litres d'air.

Que se passe-t-il ?

A partir de quelle profondeur l'ancre va remonter ?

REPOSE EXERCICE 3

$$P_{\text{app}} = 50 - (10+20)$$

$$P_{\text{app}} = 20$$

L'ancre reste sur le fond

Pour que l'ancre monte il faut que $P_{\text{archi}} > P_{\text{réel}}$

$$P_{\text{archi}} > 50$$

$$\rightarrow \text{Volume du parachute} = 40 \text{ l}$$

$$\text{Mariotte : } 5 \text{ b} \times 20 \text{ l} = P_2 \times 40 \text{ l}$$

$$P_2 = 100 / 40 = 2,5 \text{ bars}$$

$$\rightarrow \text{Profondeur} = 15 \text{ mètres}$$