

# PHYSIQUE N4

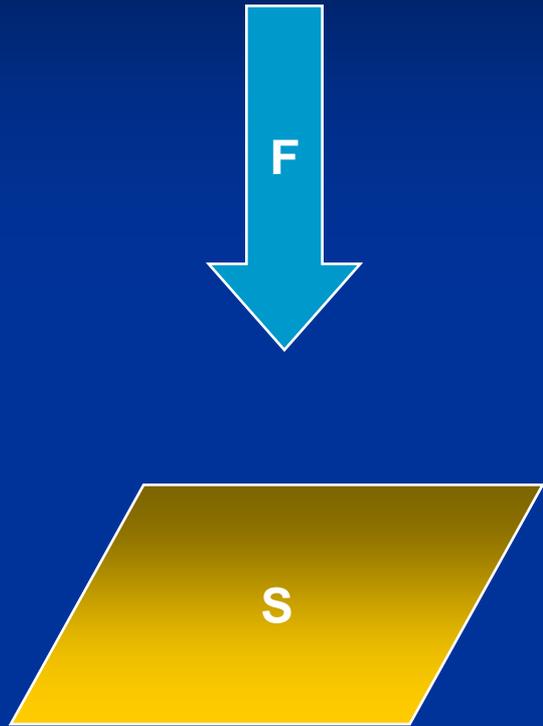
## Cours 1/3

### 19 Novembre 2008

PRESSIONS

- LOI DE MARIOTTE
- LOI DE CHARLES
- FLOTTABILITE

# PRESSIONS



Définition :

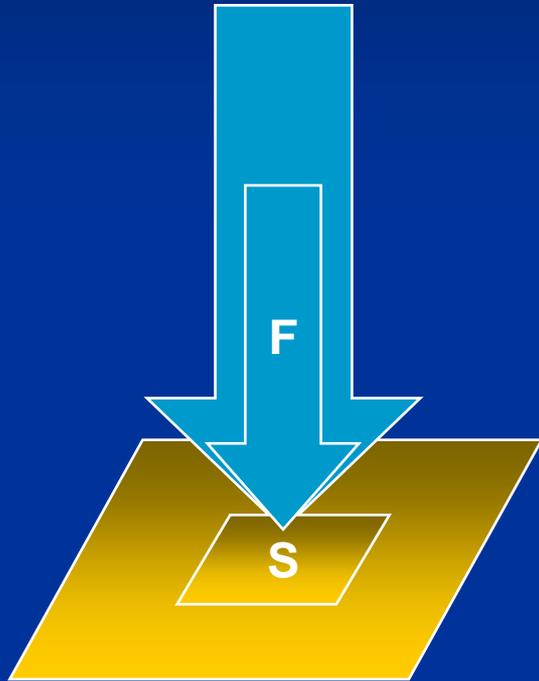
Quand une force s'exerce sur une surface il en résulte une pression.

$$P = F / S$$

PRESSIONS

- LOI DE MARIOTTE
- LOI DE CHARLES
- FLOTTABILITE

# PRESSIONS



La pression est d'autant plus grande que :

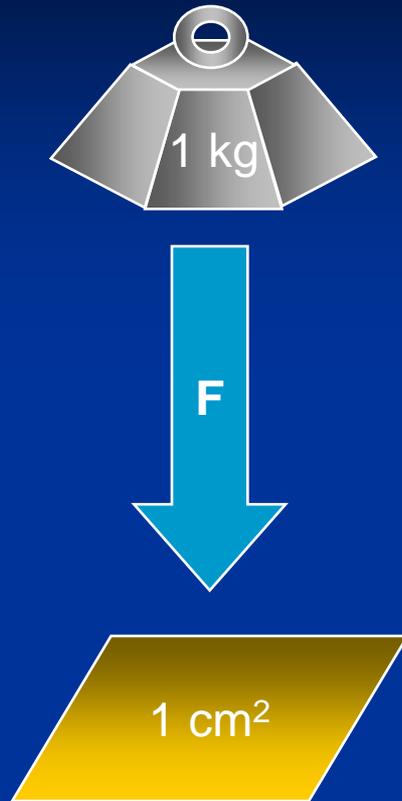
- 1) La force exercée est grande
- 2) La surface est petite

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

PRESSIONS

- LOI DE MARIOTTE
- LOI DE CHARLES
- FLOTTABILITE

# PRESSIONS



En plongée nous utilisons le Bar comme unité de pression.

$$1 \text{ Bar} = 1 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

Il existe d'autres grandeurs :

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

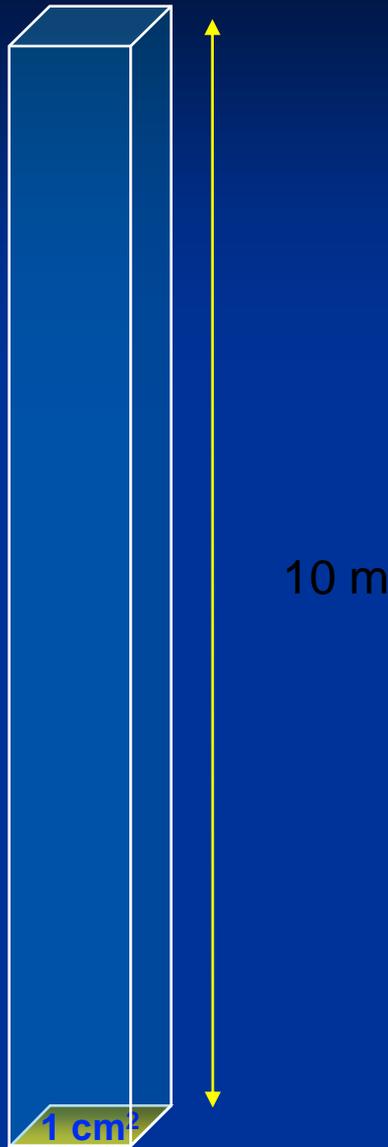
■ PRESSIONS

■ LOI DE MARIOTTE

■ LOI DE CHARLES

■ FLOTTABILITE

# PRESSIONS



Comme 1 colonne d'eau de 10m de haut sur  
 $1 \text{ cm}^2 = 1 \text{ kg}$

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 :  $23 / 10 = 2,3$

# PRESSIONS

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

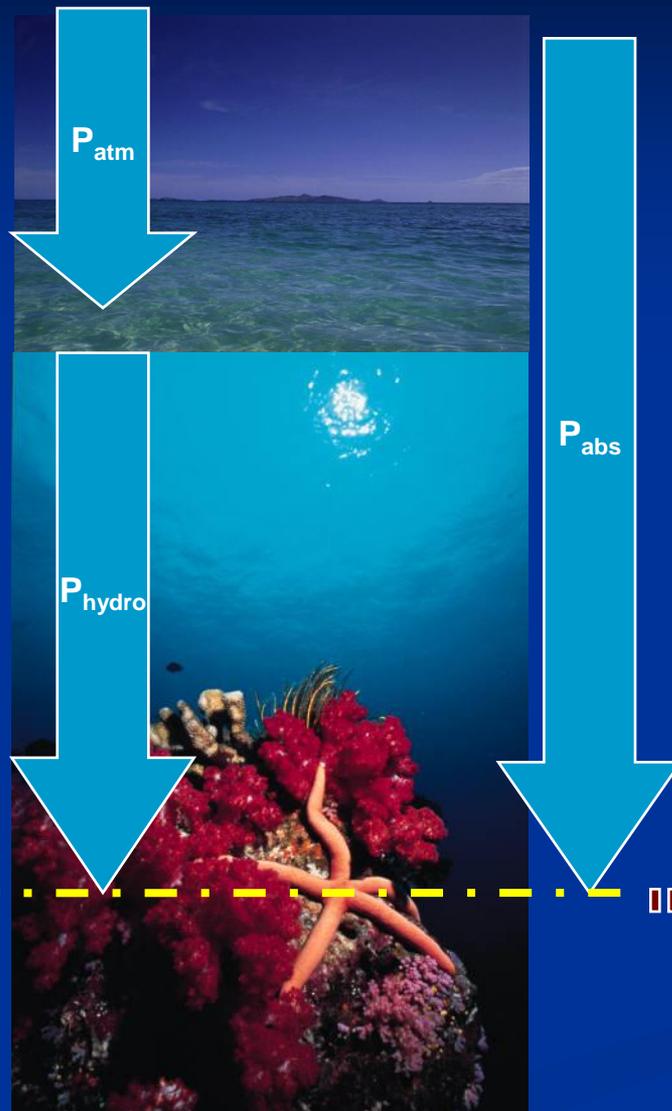
La pression absolue :

Elle résulte des 2 pressions précédentes

PRESSIONS

- LOI DE MARIOTTE
- LOI DE CHARLES
- FLOTTABILITE

# PRESSIONS



On considère que la pression atmosphérique au niveau de la mer est de :  $P_{atm} = 1 \text{ bar}$

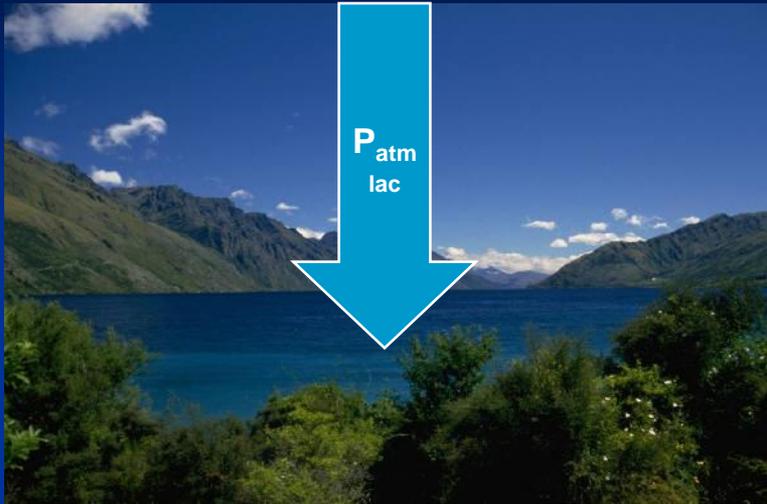
Il s'exerce sur l'étoile de mer une pression totale appelée pression absolue ( $P_{abs}$ ) qui est égale à la somme de la pression atmosphérique et de la pression hydrostatique

$P_{abs} = P_{atm} + P_{hydro}$

PRESSIONS

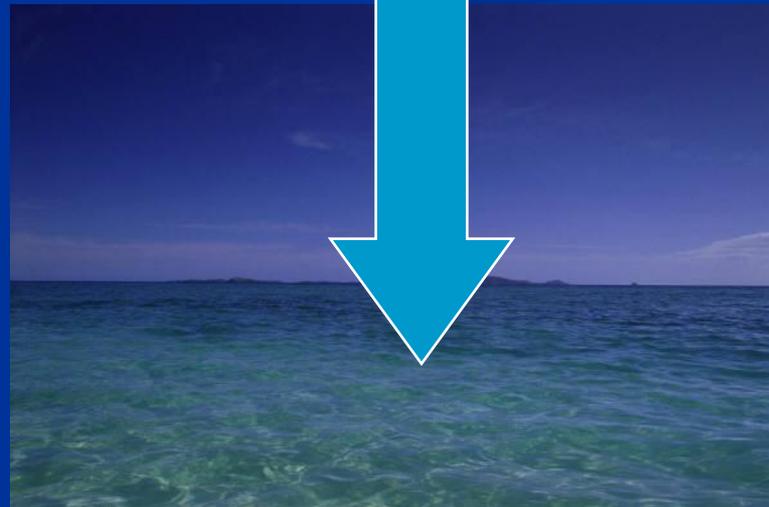
- LOI DE MARIOTTE
- LOI DE CHARLES
- FLOTTABILITE

# PRESSIONS



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

- ▶  $P_{abs}$  différente pour la même profondeur d'immersion.
- ▶ Lecture des instruments
- ▶ Procédures de décompression différentes.



# PRESSIONS

## 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?

# PRESSIONS

## EXERCICES 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

# BOYLE - MARIOTTE

Énoncé :

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

En clair :

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

Ou

$$P1 \times V1 = P2 \times V2$$

Avec :

P1 : pression initiale en bar

V1 : volume initial en litre

P2 : pression finale en bar

V2 : volume final en litre

# BOYLE - MARIOTTE

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

# BOYLE - MARIOTTE

## EXERCICE :

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

## REPONSE :

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$P_1 = 4 \text{ b} ; P_2 = 2 \text{ b} ; V_1 = 10 \text{ l}$$

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

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

# BOYLE - MARIOTTE

## EXERCICE :

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.



# BOYLE - MARIOTTE

REPONSE:

$$1) P_1V_T + P_2V_2 = P_fV_T + P_fV_2$$

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

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

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

$$2) P_1V_1 + P_2V_2 = P_{f1}V_1 + P_{f1}V_2$$

$$(200 \times 50) + (20 \times 10) = P_f(50 + 10)$$

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

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

La seconde méthode est plus efficace

2<sup>ème</sup> étape

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

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

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

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



# BOYLE - MARIOTTE

## 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.

# BOYLE - MARIOTTE

## 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)

# BOYLE - MARIOTTE

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

# BOYLE - MARIOTTE

## INSTRUMENTS ET ALTITUDE

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

Il existe 3 grandes familles d'appareils :

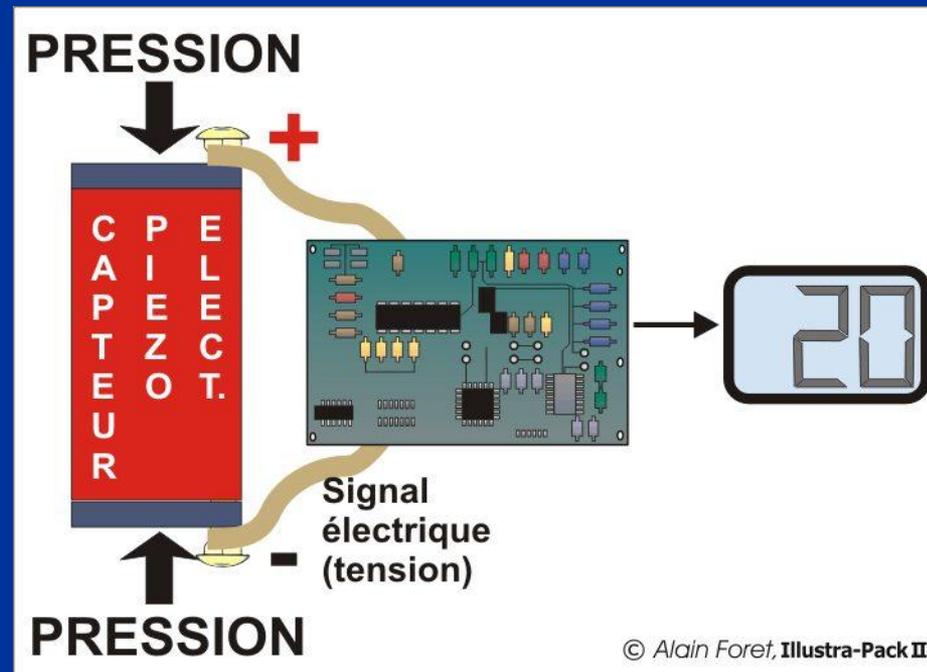
- Les appareils électroniques (profondimètres et ordinateurs)
- Les appareils mécanique (à tube de Bourdon)
- Les appareils à capillaire

# BOYLE - MARIOTTE

## INSTRUMENTS ET ALTITUDE

-Les appareils électroniques:

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



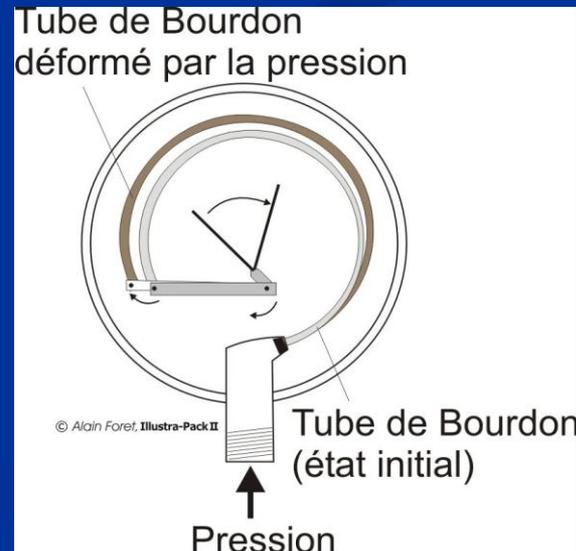
# BOYLE - MARIOTTE

## INSTRUMENTS ET ALTITUDE

-Les appareils à 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.



# BOYLE - MARIOTTE

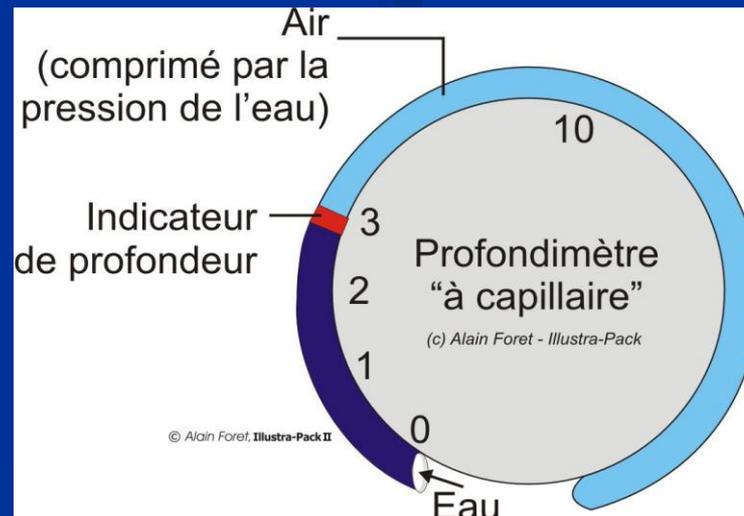
## INSTRUMENTS ET ALTITUDE

### -Les profondimètres à 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.



# BOYLE - MARIOTTE

## INSTRUMENTS ET ALTITUDE

EXERCICE :

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

a) Convertissez la pression atmosphérique en bar.

b) Quelle profondeur indiquera son profondimètre s'il utilise :

- Un profondimètre électronique,
- Un profondimètre à tube de Bourdon,
- Un profondimètre à capillaire ?

# BOYLE - MARIOTTE

## INSTRUMENTS ET ALTITUDE

REPONSE :

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

b) - profondimètre électronique :

Profondeur lue = profondeur réelle = 42,5 m

# BOYLE - MARIOTTE

## INSTRUMENTS ET ALTITUDE

REPONSE :

- profondimètre à tube de Bourdon :

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

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

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

# BOYLE - MARIOTTE

## INSTRUMENTS ET ALTITUDE

REPONSE :

-profondimètre à capillaire :

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

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

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

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

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

Profondeur mer = profondeur lue = 50 m

# CHARLES

Énoncé :

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

En clair :

$$P1 / T1 = P2 / T2$$

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

# CHARLES

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).

# CHARLES

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 :

$$T1 = 273 + 37 = 310 \text{ K}$$

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

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

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

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

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

# CHARLES

## EXEMPLE :

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 ?

# CHARLES

REPONSE :

$$1) P_1 = 200 \text{ b} ; T_1 = 37^\circ \text{ C} = 310 \text{ K} ; T_2 = 13^\circ \text{ C} = 286 \text{ K}$$

$$P_1/T_1 = P_2/T_2$$

$$P_2 = (P_1 \times T_2) / T_1 = (200 \times 286) / 310$$

$$P_2 = 184,5 \text{ bars}$$

$$2) P_1 = 78 \text{ b} ; T_1 = 13^\circ \text{ C} = 286 \text{ K} ; P_2 = 90 \text{ b}$$

$$P_1/T_1 = P_2/T_2$$

$$T_2 = (T_1 \times P_2) / P_1 = (286 \times 90) / 78$$

$$T_2 = 330 \text{ K} = 57^\circ \text{ C}$$

# FLOTTABILITE

- PHYSIQUE N4
- PRESSIONS
- LOI DE MARIOTTE
- LOI DE CHARLES
- FLOTTABILITE

En plongée nous avons 3 types de flottabilité possibles.



1) La flottabilité négative → le plongeur coule

# FLOTTABILITE

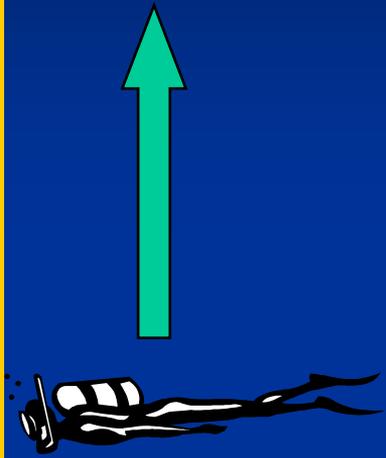
■ PHYSIQUE N4

■ PRESSIONS

■ LOI DE  
MARIOTTE

■ LOI DE CHARLES

■ FLOTTABILITE



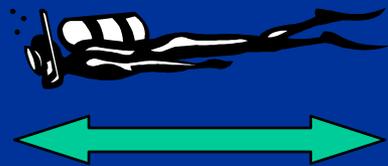
En plongée nous avons 3 types de flottabilité possibles.

2) La flottabilité positive → le plongeur monte

# FLOTTABILITE

- PHYSIQUE N4
- PRESSIONS
- LOI DE MARIOTTE
- LOI DE CHARLES
- FLOTTABILITE

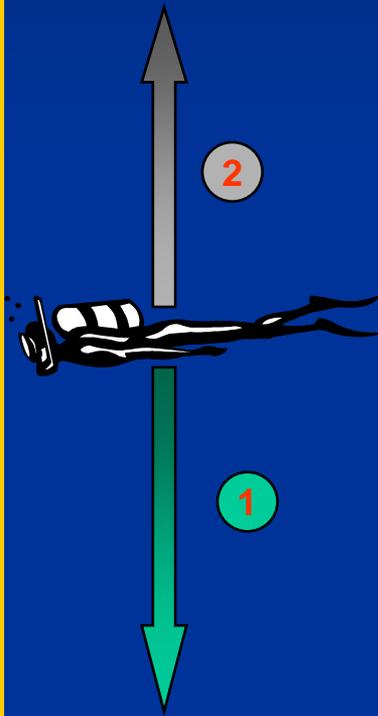
En plongée nous avons 3 types de flottabilité possibles.



3) La flottabilité nulle → le plongeur est équilibré

# FLOTTABILITE

Pourquoi existe-t-il ces différentes flottabilités ?

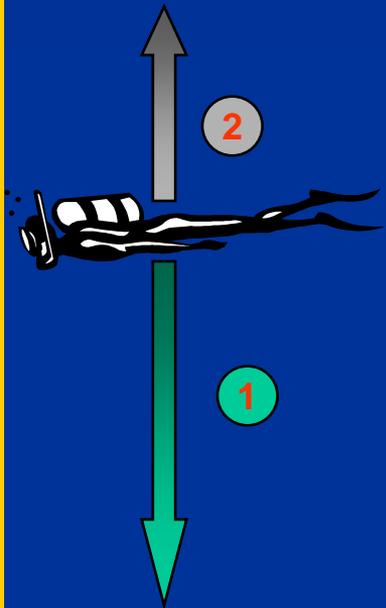


Dans l'eau nous sommes soumis à différentes forces :

- ① Notre poids qui nous tire vers le bas
- ② La poussée d'Archimède qui nous tire vers le haut

# FLOTTABILITE

Pourquoi existe-t-il ces différentes flottabilités ?



Dans l'eau nous sommes soumis à différentes forces :

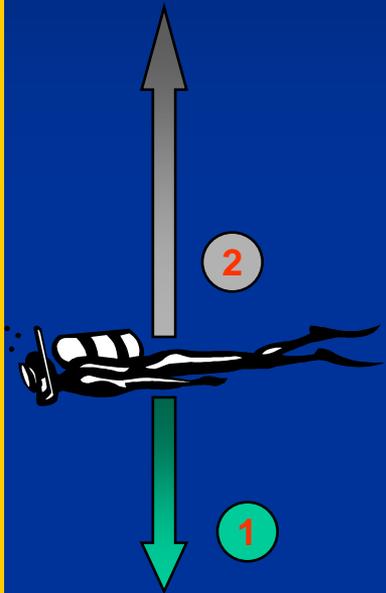
Si notre poids **1** est plus grand que la poussée d'Archimède **2**, la flottabilité est négative.

→ le plongeur descend

# FLOTTABILITE

- PHYSIQUE N4
- PRESSIONS
- LOI DE MARIOTTE
- LOI DE CHARLES
- FLOTTABILITE

Pourquoi existe-t-il ces différentes flottabilités ?



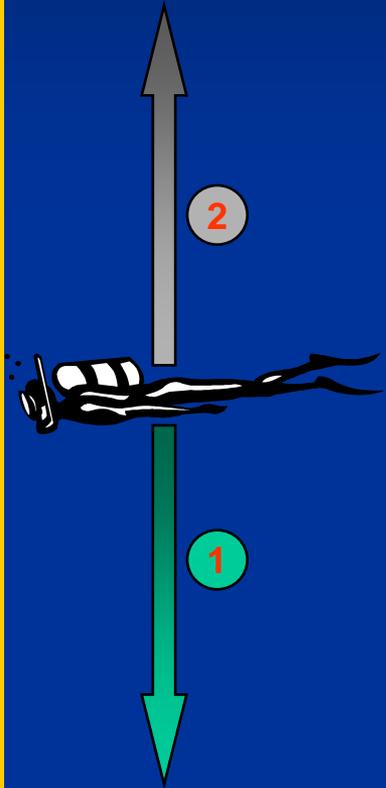
Dans l'eau nous sommes soumis à différentes forces :

Si notre poids **1** est plus petit que la poussée d'Archimède **2**, la flottabilité est négative.

→ le plongeur flotte

# FLOTTABILITE

Pourquoi existe-t-il ces différentes flottabilités ?



Dans l'eau nous sommes soumis à différentes forces :

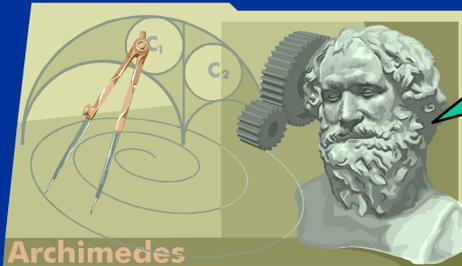
Si notre poids **1** est égal à la poussée d'Archimède **2**, la flottabilité est nulle.

→ le plongeur est stabilisé

# FLOTTABILITE

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



# FLOTTABILITE

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.

Par exemple un bloc est plus facile à porter dans l'eau que dans l'air.

# FLOTTABILITE

■ PHYSIQUE N4

■ PRESSIONS

■ LOI DE  
MARIOTTE

■ LOI DE CHARLES

■ FLOTTABILITE

Utilisation en plongée :

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

# FLOTTABILITE

- PHYSIQUE N4
- PRESSIONS
- LOI DE MARIOTTE
- LOI DE CHARLES
- FLOTTABILITE

Utilisation en plongée :

Comment déterminer la poussée d'Archimède ?

$$P_{\text{Archi}} = V \times d$$

Volume en litre ou en  $\text{dm}^3$

Densité du liquide

Densité de l'eau douce  $\rightarrow d = 1$

Densité de l'eau de mer  $\rightarrow d = 1,03$

# FLOTTABILITE

Utilisation en plongée :

Comment déterminer le poids réel d'un objet ?

Soit on connaît son poids.

Soit on le calcule :

$$P_{\text{réel}} = V \times d$$



Volume en litre ou en  $\text{dm}^3$



Densité de l'objet

Densité du plomb ?  $d = 11,3$

# FLOTTABILITE

■ PHYSIQUE N4

■ PRESSIONS

■ LOI DE  
MARIOTTE

■ LOI DE CHARLES

■ FLOTTABILITE

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)

# FLOTTABILITE

■ PHYSIQUE N4

■ PRESSIONS

■ LOI DE  
MARIOTTE

■ LOI DE CHARLES

■ FLOTTABILITE

## EXERCICE 1

Un plongeur d'un volume de  $100 \text{ dm}^3$  a une masse équipée de  $99 \text{ kg}$ .

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

# FLOTTABILITE

- PHYSIQUE N4
- PRESSIONS
- LOI DE MARIOTTE
- LOI DE CHARLES
- FLOTTABILITE

## REPONSE EXERCICE 1

Eau douce

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

$$P_{app} = -1$$



Le plongeur flotte

Il doit rajouter 1kg de lest

Eau de mer

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

$$P_{app} = -4$$



Le plongeur flotte

Il doit rajouter 4 kg de lest

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

# FLOTTABILITE

## 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.

# FLOTTABILITE

■ PHYSIQUE N4

■ PRESSIONS

■ LOI DE  
MARIOTTE

■ LOI DE CHARLES

■ FLOTTABILITE

## REPONSE 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

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

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

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

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

# FLOTTABILITE

■ PHYSIQUE N4

■ PRESSIONS

■ LOI DE  
MARIOTTE

■ LOI DE CHARLES

■ FLOTTABILITE

## 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 ?

# FLOTTABILITE

## REPONSE EXERCICE 3

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

$$P_{app} = 20$$

L'ancre reste sur le fond

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

$$P_{archi} > 50$$

→ Volume du parachute = 40 l

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

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

→ Profondeur = 15 mètres