

# Guide de Palanquée - Niveau 4

## Aspects théoriques de l'activité:

### Compressibilité des gaz

Pression

Loi de Mariotte

Consommation

Influence de la température

Gonflage

### Pressions partielles

Loi de Dalton

Toxicité des gaz

### Flottabilité

Théorème d'Archimède

**27 novembre 2024**

Maurice SCHAULI

# Extrait du Manuel de Formation Technique

## COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface  
les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

### EPREUVE 12 – Aspects théoriques de l'activité : (Coefficient 2)

Cette épreuve est destinée à vérifier les connaissances théoriques du candidat dans des aspects utilisables dans la pratique habituelle de l'activité, en-dehors du matériel de plongée. Elle doit comporter au moins 3 problèmes différents et indépendants.

| Connaissances            | Commentaires et évaluation   |
|--------------------------|--|
| Flottabilité.            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Notion de densité et de masse volumique</li> <li>• Notions de poids apparent, de poids réel et de poussée d'Archimède</li> <li>• Problèmes simples et en rapport avec la pratique : lestage des plongeurs, relevage d'objets utilisés dans la pratique de la plongée.</li> </ul>  |
| Compressibilité des gaz. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consommation des plongeurs en surface et en immersion, conséquences pratiques. Se limiter à des problèmes dont les données chiffrées sont simples.</li> <li>• Influence de la température sur la pression des blocs.</li> <li>• La formule <math>PV = nRT</math> et les calculs associés (Charles, Gay-Lussac) sont hors sujet.</li> </ul>  |
| Pressions partielles.    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Limites de toxicité de l'oxygène et de l'azote en fonction de la profondeur.</li> <li>• Les mélanges autres que l'air n'ont pas à être traités.</li> </ul>  |
| Optique.                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Description et conséquences pour le plongeur : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ De l'absorption des couleurs en fonction de la profondeur.</li> <li>▪ De la réflexion et de la réfraction des rayons lumineux dans l'eau en plongée diurne et nocturne. Pas de calculs ni d'utilisation de formules trigonométriques.</li> <li>▪ Du rétrécissement du champ de vision en immersion : conséquences.</li> <li>▪ Les explications peuvent être illustrées par des situations en lien avec l'activité de GP.</li> </ul> </li> </ul> |
| Acoustique.              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Description et conséquences pour le plongeur des différences des vitesses de propagation du son dans l'air et dans l'eau.</li> <li>• Les explications peuvent être illustrées par des calculs simples.</li> </ul>   |

# Pourquoi la physique ?

## COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface  
les unités

Patm Phydro Pabs  
P en altitude

Loi de Mariotte

les applications  
gonflage  
consommation

Influence de la T°  
Kelvin en C°

## PRESSIONS PARTIELLES

Loi de Dalton  
toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative  
positive  
nulle  
les forces en jeux  
Archimède  
lestage  
relevage

En tant de GdP il faudra connaitre, savoir se représenter et comprendre les phénomènes physiques pour appréhender les mécanismes fins:

- de phénomènes physiologiques et prévention d'accidents (barotraumatismes, toxicité gaz, saturation/désaturation, . . . )
- de la flottabilité des plongeurs de votre palanquée (immersion, équilibre, remontées, position dans l'eau, lestage . . . )
- du fonctionnement du matériel (détendeur, compresseur, gilet, pression des blocs, ordinateur, . . . )
- autonomie (consommation, . . . )

# Pression

## COMPRESSIBILITE GAZ

### Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative

positive

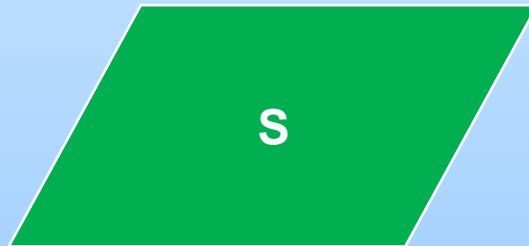
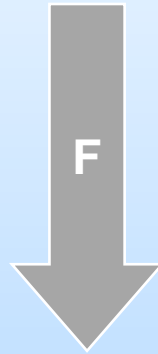
nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage



Définition :

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

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

# Pression

## COMPRESSIBILITE GAZ

### Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

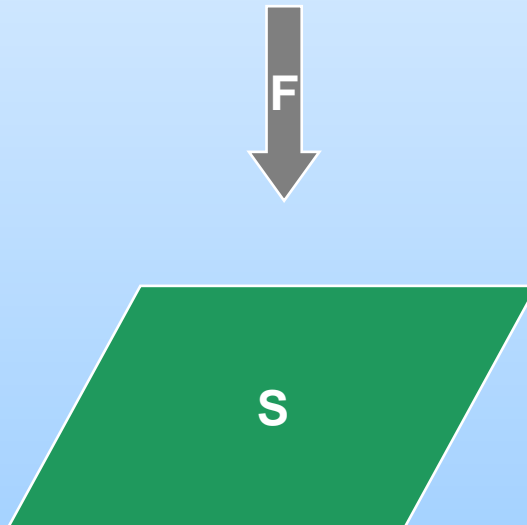
Archimède

lestage

relevage

La pression est d'autant plus grande que :

- la force exercée est grande
- la surface est petite



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

# Pression - illustration

## COMPRESSIBILITE

### GAZ

#### Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

Pourquoi faut-il mettre des raquettes pour éviter de s'enfoncer dans la neige ?

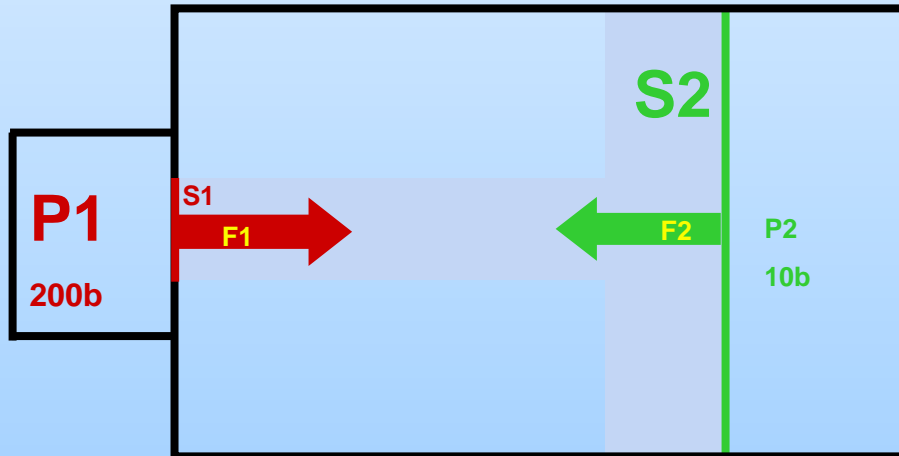
La force exercée par le poids sur la neige est répartie sur une plus grande surface et la pression diminue

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



# Pression - illustration

Pour que le piston d'un détendeur soit en équilibre, le bilan des forces doit s'annuler:  $F1 = F2$  et de sens opposé



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

$$F = P \times S$$

$$F1 = P1 \times S1 = F2 = P2 \times S2$$

P1 = pression du bloc

P2 = pression intermédiaire

COMPRESSIBILITE  
GAZ

Pression  
force par surface  
les unités

Patm Phydro Pabs  
P en altitude  
Loi de Mariotte  
les applications  
gonflage  
consommation

Influence de la T°  
Kelvin en C°

PRESSIONS  
PARTIELLES  
Loi de Dalton  
toxicité des gaz

FLOTTABILITE  
négative  
positive  
nulle  
les forces en jeux  
Archimède  
lestage  
relevage

# Unités de Pression

## COMPRESSIBILITE GAZ

### Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeu

Archimède

lestage

relevage



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

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

Il existe d'autres grandeurs :

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



# Poids de l'eau

## COMPRESSIBILITE GAZ

### Pression

force par surface

### les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative

positive

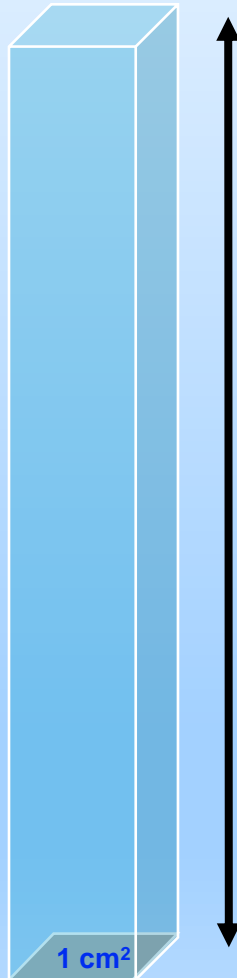
nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage



Une colonne d'eau douce de 10m de haut sur 1 cm<sup>2</sup> = 1 kg

Il s'exerce 1 bar de pression d'eau (appelée pression hydrostatique) tous les 10m.

Formule (eau douce) :

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

avec H hauteur d'eau en mètres

Exemple :

À 23 m la pression est de 2,3 bars

$$\text{Calcul : } 23 / 10 = 2,3$$

# Les différentes Pressions

## COMPRESSIBILITE

### GAZ

#### Pression

force par surface  
 les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

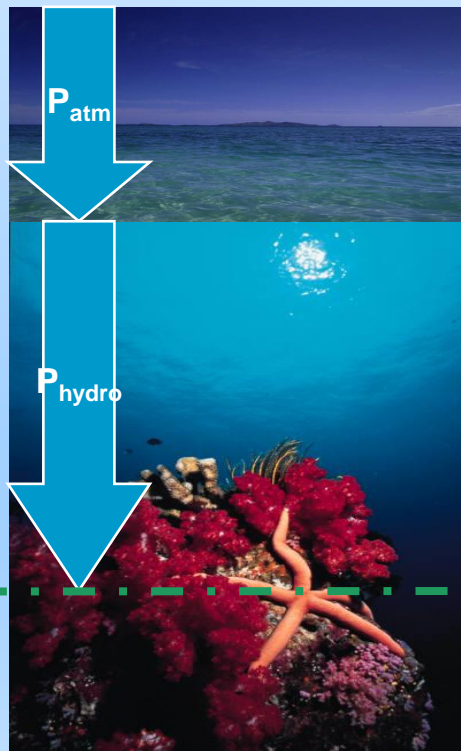
Archimède

lestage

relevage

En plongée nous utilisons différentes pressions :

- la pression atmosphérique : correspondant au poids de l'air au dessus de nous.
- la pression hydrostatique : correspondant au poids de l'eau au dessus de nous.
- la pression absolue : résultant des 2 pressions précédentes



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

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

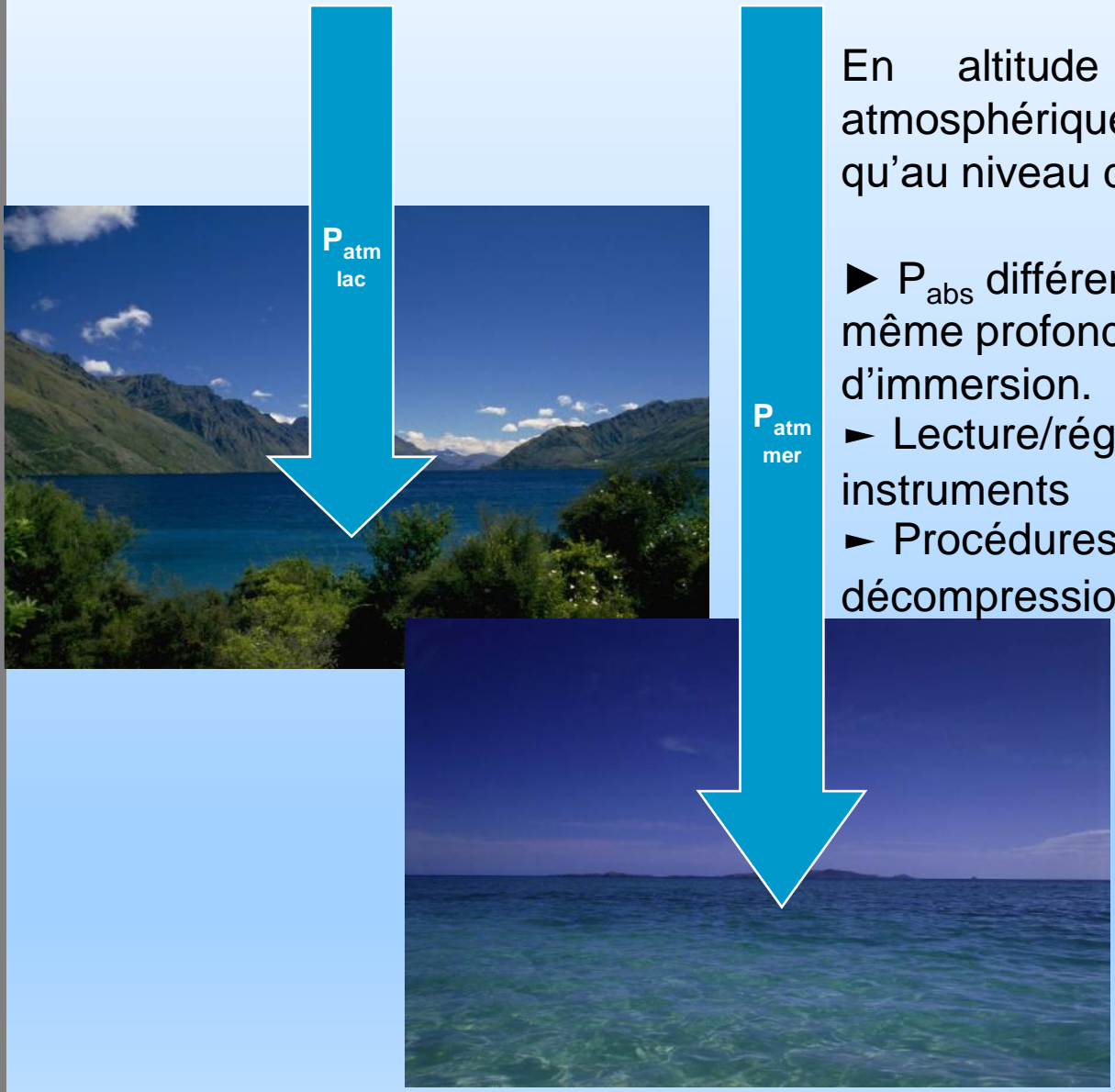
# Influence de l'altitude

**COMPRESSIBILITE GAZ**  
 Pression  
 force par surface  
 les unités  
 Patm Phydro Pabs  
 P en altitude  
 Loi de Mariotte  
 les applications  
 gonflage  
 consommation

Influence de la T°  
 Kelvin en C°

**PRESSIONS PARTIELLES**  
 Loi de Dalton  
 toxicité des gaz

**FLOTTABILITE**  
 négative  
 positive  
 nulle  
 les forces en jeux  
 Archimède  
 lestage  
 relevage



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

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

## COMPRESSIBILITE GAZ

### Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

### Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

### Influence de la T°

Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

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?

## COMPRESSIBILITE GAZ

### Pression

force par surface  
les unités

$P_{atm}$   $P_{hydro}$   $P_{abs}$   
P en altitude

### Loi de Mariotte

les applications  
gonflage  
consommation

Influence de la  $T^\circ$   
Kelvin en  $C^\circ$

## PRESSIONS PARTIELLES

Loi de Dalton  
toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative  
positive  
nulle  
les forces en jeux  
Archimède  
lestage  
relevage

1) Un plongeur s'immerge à 37m en mer

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

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

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

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

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

# Loi de Boyle (1662) – Mariotte (1676)

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

T2 : volume final en litre

COMPRESSIBILITE  
GAZ

Pression  
force par surface  
les unités

Patm Phydro Pabs  
P en altitude

Loi de Mariotte

les applications  
gonflage  
consommation

Influence de la T°  
Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES  
Loi de Dalton  
toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative  
positive  
nulle  
les forces en jeu  
Archimède  
lestage  
relevage

# Applications à la plongée

## COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface  
les unités

Patm Phydro Pabs  
P en altitude

Loi de Mariotte

les applications  
gonflage  
consommation

Influence de la T°  
Kelvin en C°

## PRESSIONS PARTIELLES

Loi de Dalton  
toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative  
positive  
nulle

les forces en jeux  
Archimède  
lestage  
relevage

- accidents de plongée liés aux variations de volumes
- stabilisation (utilisation du gilet)
- gonflage des blocs
- consommation d'air
- Gonflage d'un parachute (de palier, de relevage)

# Gonflage gilet

## COMPRESSIBILITE

### GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

## 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 :

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

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

$$V_2 = P_1 V_1 / P_2$$

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



# Exercice gonflage blocs

## COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface  
les unités

Patm Phydro Pabs  
P en altitude

Loi de Mariotte

les applications  
gonflage  
consommation

Influence de la T°  
Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton  
toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative  
positive  
nulle  
les forces en jeux  
Archimède  
lestage  
relevage

EXERCICE (pour le 11 décembre) :

Vous disposez de 2 blocs tampons de 50 l chacun, tous 2 gonflés à 200 bars. Vous voulez gonfler un bloc de 10 l dans lequel la pression résiduelle est de 20 bars.

Quelle méthode utiliseriez vous pour gonfler ce bloc de 10L à la pression maximale possible ?

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



# Consommation - Autonomie

## COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface  
les unités

Patm Phydro Pabs  
P en altitude

Loi de Mariotte

les applications  
gonflage  
consommation

Influence de la T°  
Kelvin en C°

PRESSIONS  
PARTIELLES  
Loi de Dalton  
toxicité des gaz

FLOTTABILITE  
négative  
positive  
nulle  
les forces en jeux  
Archimède  
lestage  
relevage

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.

# Consommation - Autonomie

## COMPRESSIBILITE

### GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

## EXERCICE :

Pour une consommation estimée à 20 litres/min (estimé en surface), bloc de 15 l gonflé au départ à 210 bars et 1/3 du volume à garder pour la remontée (70b), 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 :  $P \times V = (210 \times 2/3) \times 15 = 2100$  litres

Autonomie :

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

$2100 / 110 = \mathbf{19,09}$  min

# Consommation - Autonomie

EXERCICE (pour le 11 décembre) :

Pour la plongée suivante (voir photos du carnet), le plongeur ayant utilisé une Bouteille de 15L, quelle a été sa consommation Moyenne ?



COMPRESSIBILITE  
GAZ

Pression  
force par surface  
les unités  
Patm Phydro Pabs  
P en altitude  
Loi de Mariotte  
les applications  
gonflage  
consommation

Influence de la T°  
Kelvin en C°

PRESSIONS  
PARTIELLES

Loi de Dalton  
toxicité des gaz

FLOTTABILITE  
négative  
positive  
nulle  
les forces en jeux  
Archimède  
lestage  
relevage

# Influence de la température sur la pression

**Énoncé (1802) :**

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

En clair :

$$\frac{P1}{T1} = \frac{P2}{T2}$$

Avec :

P1 : pression initiale en bar

T1 : température initiale en Kelvin

P2 : pression finale en bar

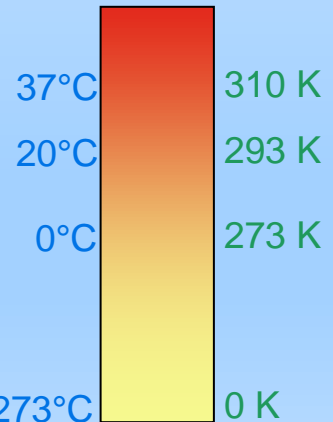
T2 : température finale en Kelvin

0 K = -273° C

0° C = 273 K

20° C = 293 K

-273° C = 0 K



COMPRESSIBILITE  
GAZ

Pression  
force par surface  
les unités  
Patm Phydro Pabs  
P en altitude  
Loi de Mariotte  
les applications  
gonflage  
consommation

Loi de Gay Lussac  
Kelvin en C°

PRESSIONS  
PARTIELLES

Loi de Dalton  
toxicité des gaz

FLOTTABILITE  
négative  
positive  
nulle  
les forces en jeux  
Archimède  
lestage  
relevage

# Gay Lussac: application à la plongée

## COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface  
les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°  
Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeu

Archimède

lestage

relevage

- Si la température varie, alors la pression à l'intérieur d'un bloc variera  
Par conséquent le volume de gaz a disposition du plongeur dépendra de la température extérieure. (autonomie)
- Si l'on chauffe un bloc fermé, par apport d'énergie (chaleur) extérieure, sa température augmente, ainsi que sa pression.  
Il en est de même lorsque l'on gonfle un bloc.
- A l'inverse, si l'on refroidit un bloc, la température du gaz diminue, ainsi que sa pression. (Bloc au soleil, puis immergé en gravière)  
Un bloc se refroidit également quand on le vide.  
Givrage des détendeurs (la détente d'un gaz produit du froid)

# Loi de Gay Lussac - Exercices

## COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Loi de Gay Lussac  
Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

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 ?

# Loi de Gay Lussac - Exercices

## COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface  
les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Loi de Gay Lussac  
Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

REPONSE :

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

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

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

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

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

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



# Loi de Gay Lussac - Exercices

## COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface  
les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Loi de Gay Lussac  
Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

(POUR le 11 décembre)

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 ?

# Loi de Dalton (1802)

COMPRESSIBILITE  
 GAZ

- Pression
- force par surface
- les unités
- Patm Phydro Pabs
- P en altitude
- Loi de Mariotte
- les applications
- gonflage
- consommation

Influence de la T°  
 Kelvin en C°

PRESSIONS  
 PARTIELLES

- Loi de Dalton
- toxicité des gaz

FLOTTABILITE

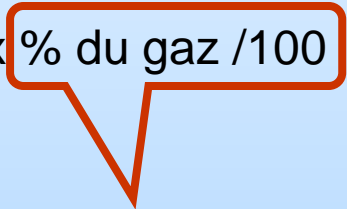
- négative
- positive
- nulle
- les forces en jeux
- Archimède
- lestage
- relevage

La pression totale exercée par un mélange de gaz est égale à la somme des pressions partielles (Pp) des constituants

Pression partielle d'un gaz = Pression absolue x Fraction du gaz

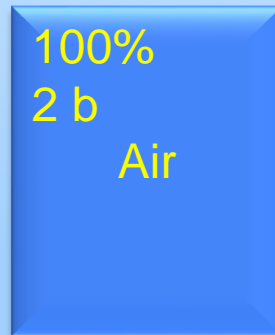
$$P_{pgaz} = P_{abs} \times F_{gaz}$$

$$P_{pgaz} = P_{abs} \times \% \text{ du gaz} / 100$$

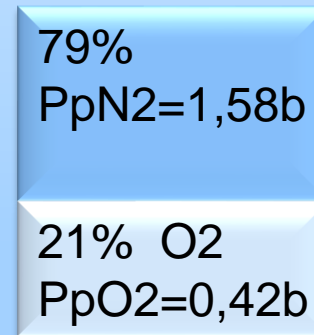


0,XX où XX=%

à 10m



=



$$P_{abs} \text{ Air} = P_{pN2} + P_{pO2} = 1,58 + 0,42 = 2b$$

# Pression Partielle (toxicité - quantité)

Les pressions partielles des gaz déterminent:

- Les limites en fonction de leur toxicité
  - ✓ pour une plongée à l'air, le Code du Sport limite à 60m, cette limite étant déterminée par la **PpN2** (narcose), qui ne doit pas dépasser  $(80/100)*7 = 5,6 \text{ bars}$  (composition de l'air arrondie à 20/80)
  - ✓ la **PpO2** doit être contenue entre **0,16b et 1,6b** (Mélange suroxygéné Nitrox ou Trimix)
- leur quantité
  - ✓ c'est la PpN2 et le temps qui déterminent la quantité de la saturation des tissus

COMPRESSIBILITE

GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

# Manipulation des formules

Pour déterminer la Pp (**quantité, toxicité**) quand on connaît la profondeur et le % du mélange:

$$Pp = Pabs \times 0,XX \quad \text{avec } XX=\%$$

Pour trouver la **profondeur** d'utilisation d'un mélange:

$$Pp = Pabs \times 0,XX$$



$$Pabs = \frac{Pp}{0,XX} \quad \text{avec } XX=\%$$

Pour déterminer le **mélange** en fonction de la profondeur, une fois que la Pp a été choisie:

$$Pp = Pabs \times 0,XX$$



$$0,XX = \frac{Pp}{Pabs} \quad \text{avec } XX=\%$$

COMPRESSIBILITE  
GAZ

Pression  
force par surface  
les unités  
Patm Phydro Pabs  
P en altitude  
Loi de Mariotte  
les applications  
gonflage  
consommation

Influence de la T°  
Kelvin en C°

PRESSIONS  
PARTIELLES

Loi de Dalton  
toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative  
positive  
nulle  
les forces en jeux  
Archimède  
lestage  
relevage

# Toxicité des gaz - Exercices

## COMPRESSIBILITE

### GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

- Quelle est la profondeur maximale avec un mélange Air pour respecter une  $PpO_2 < 1,6$  ?

$$P_{abs} = P_{pO_2} / 0,21 = 1,6 / 0,21 = 7,6b \rightarrow \text{profondeur } 66m$$

Ce n'est donc qu'avec des Nitrox ou de l'O<sub>2</sub> pure qu'une  $PpO_2 > 1,6$  peut être atteinte

- Pour un mélange Nitrox comportant 37% d'O<sub>2</sub>,
  - quelle sera la  $PpO_2$  que vous respirerez à 30m ?
  - quelle sera la  $PpN_2$  que vous respirerez à 30m ?

$$P_{pO_2} = P_{abs30m} \times 0,37 = 4 \times 0,37 = 1,48b$$

$$P_{pN_2} = P_{abs30m} \times 0,63 = 4 \times 0,63 = 2,52b$$

# Les Flottabilités

## COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

En plongée nous avons 3 types de flottabilité possibles.



- 1) La flottabilité négative → le plongeur coule
- 2) La flottabilité positive → le plongeur monte
- 3) La flottabilité nulle → le plongeur est équilibré

# Différentes forces

## COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

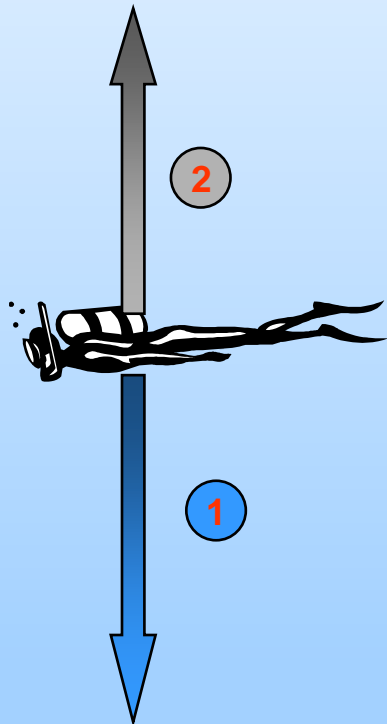
les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

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

# Différentes forces

## COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

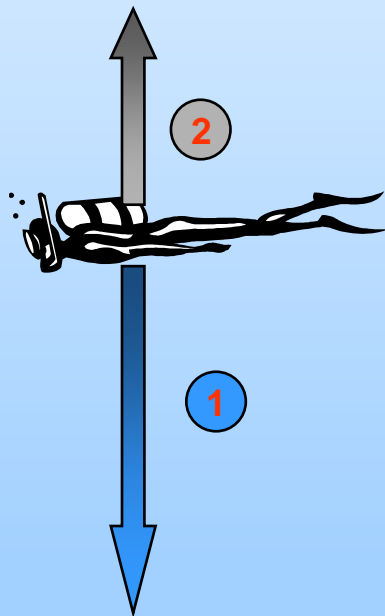
les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

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



# Différentes forces

## COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative

positive

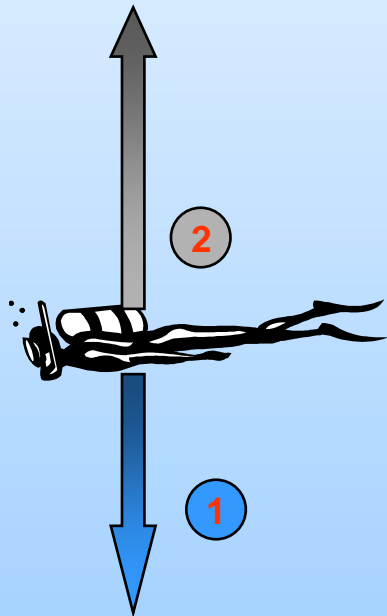
nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage



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 positive.

→ le plongeur flotte

# Différentes forces

## COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface

les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

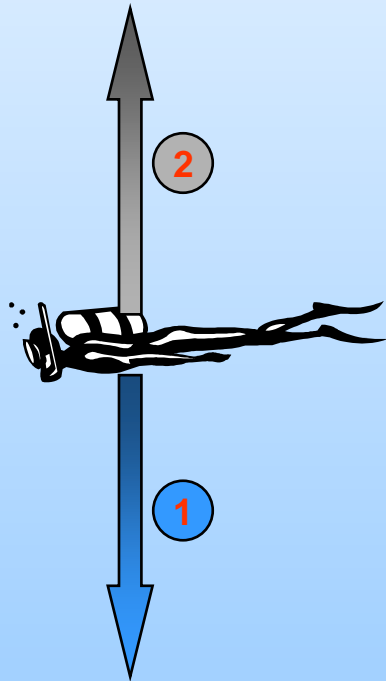
les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

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

# Que dit ARCHIMEDE ?

## COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface  
les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications  
gonflage  
consommation

Influence de la T°  
Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton  
toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

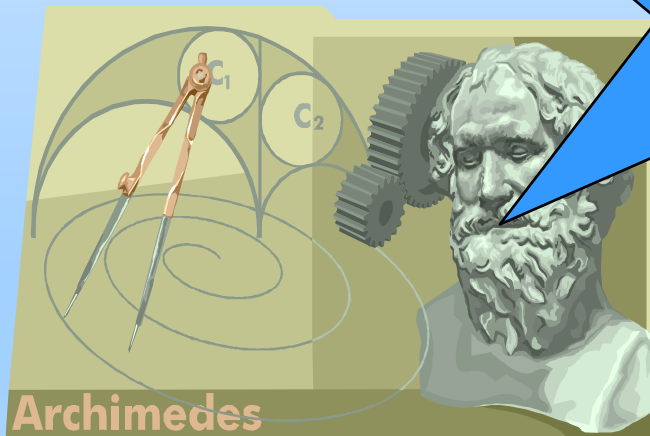
négative  
positive  
nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage  
relevage

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



# Poids apparent

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.

COMPRESSIBILITE  
GAZ

Pression

force par surface  
les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°  
Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

# Poids apparent

## COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface  
les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

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

# Déterminer la poussée

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  $\rightarrow d = 1,03$

COMPRESSIBILITE  
GAZ

Pression  
force par surface  
les unités  
Patm Phydro Pabs  
P en altitude  
Loi de Mariotte  
les applications  
gonflage  
consommation

Influence de la T°  
Kelvin en C°

PRESSIONS  
PARTIELLES  
Loi de Dalton  
toxicité des gaz

FLOTTABILITE  
négative  
positive  
nulle  
les forces en jeux  
Archimède  
lestage  
relevage

# Déterminer le poids réel

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 ?  $d = 11,3$

COMPRESSIBILITE  
GAZ

Pression

force par surface  
les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°  
Kelvin en C°

PRESSIONS

PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

# Déterminer la poussée

## COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface  
les unités

Patm Phydro Pabs  
P en altitude

Loi de Mariotte

les applications  
gonflage  
consommation

Influence de la T°  
Kelvin en C°

## PRESSIONS PARTIELLES

Loi de Dalton  
toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative  
positive  
nulle

les forces en jeux

Archimède  
lestage  
relevage

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 de lestage

## COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface  
les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications  
gonflage  
consommation

Influence de la T°  
Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton  
toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative  
positive  
nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

## EXERCICE 1

Un plongeur d'un volume de 100 dm<sup>3</sup> a une masse tout équipé 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

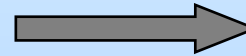
Densité eau de mer = 1,03

# Exercice de lestage – Réponse

## REPONSE EXERCICE 1

Eau douce

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



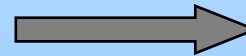
Le plongeur flotte

$$P_{app} = -1$$

Il doit rajouter 1kg de lest

Eau de mer

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



Le plongeur flotte

$$P_{app} = -4$$

Il doit rajouter 4 kg de lest

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

COMPRESSIBILITE  
GAZ

Pression  
force par surface  
les unités  
Patm Phydro Pabs  
P en altitude  
Loi de Mariotte  
les applications  
gonflage  
consommation

Influence de la T°  
Kelvin en C°

PRESSIONS  
PARTIELLES  
Loi de Dalton  
toxicité des gaz

FLOTTABILITE  
négative  
positive  
nulle  
les forces en jeux  
Archimède  
lestage  
relevage

# Exercice de lestage

## COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface  
les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications

gonflage

consommation

Influence de la T°

Kelvin en C°

## PRESSIONS

### PARTIELLES

Loi de Dalton

toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative

positive

nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage

relevage

EXERCICE 2 (Pour le 11 décembre) :

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.

# Exercice de relevage

## COMPRESSIBILITE GAZ

Pression  
force par surface  
les unités  
Patm Phydro Pabs  
P en altitude  
Loi de Mariotte  
les applications  
gonflage  
consommation

Influence de la T°  
Kelvin en C°

## PRESSIONS PARTIELLES

Loi de Dalton  
toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative  
positive  
nulle  
les forces en jeu  
Archimède  
lestage  
relevage

## 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 ?

# Exercice de lestage - Réponse

## COMPRESSIBILITE GAZ

Pression

force par surface  
les unités

Patm Phydro Pabs

P en altitude

Loi de Mariotte

les applications  
gonflage  
consommation

Influence de la T°  
Kelvin en C°

## PRESSIONS PARTIELLES

Loi de Dalton  
toxicité des gaz

## FLOTTABILITE

négative  
positive  
nulle

les forces en jeux

Archimède

lestage  
relevage

## 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

# Et Le RÔLE Du GUIDE DE Palanquée ?

Rôle du GP

## Sécurité et plaisir en plongée pour le GP et les PE

Risques

Préventions

Quels risques selon vous ? (En rapport avec les notions vues ci-dessus). Et la (les) préventions(s) ?

## Sécurité et plaisir en plongée pour le GP et les PE

| Quand ?      | Loi /Notion /<br>Grandeur | Risque               | Prévention           |
|--------------|---------------------------|----------------------|----------------------|
| Avant        | Poids (bloc)              | Portage (dos)        | Chariot              |
| Mise à l'eau | Poids                     | Portage (dos)        | S'équiper dans l'eau |
| Immersion    | $PV = Cste$               | Baros                | (Autre cours)        |
| Immersion    | Flottabilité              | Effort / Essouffl.   | Lestage adapté       |
| Au fond      | Flottabilité              | Inconfort/Essouffl.  | Lestage adapté       |
| Remontée     | Flottabilité              | Rem rap/ADD/Baro     | Lestage adapté       |
| Palier       | Flottabilité              | Effort/ADD/Essouffl. | Lestage adapté       |

Rôle du GP

Sous Lestage

## Sécurité et plaisir en plongée pour le GP et les PE

Détaillons un peu la notion de flottabilité

En termes de risques et de préventions pour le GP



## Les facteurs de la flottabilité



### Facteurs invariables :

Bloc : P et V => Forme ! & CHOIX

Détendeurs : P et V

Le Milieu : Densité de l'eau

Le lestage retenu

Autres : - Parachute et son lest

- Lampe ou phare

- Appareil photo & Caisson

### Facteurs variables avec régulation possible :

Néoprène avec la profondeur

Le poids de l'air consommé

Autres facteurs :

Défaillance (matériel)

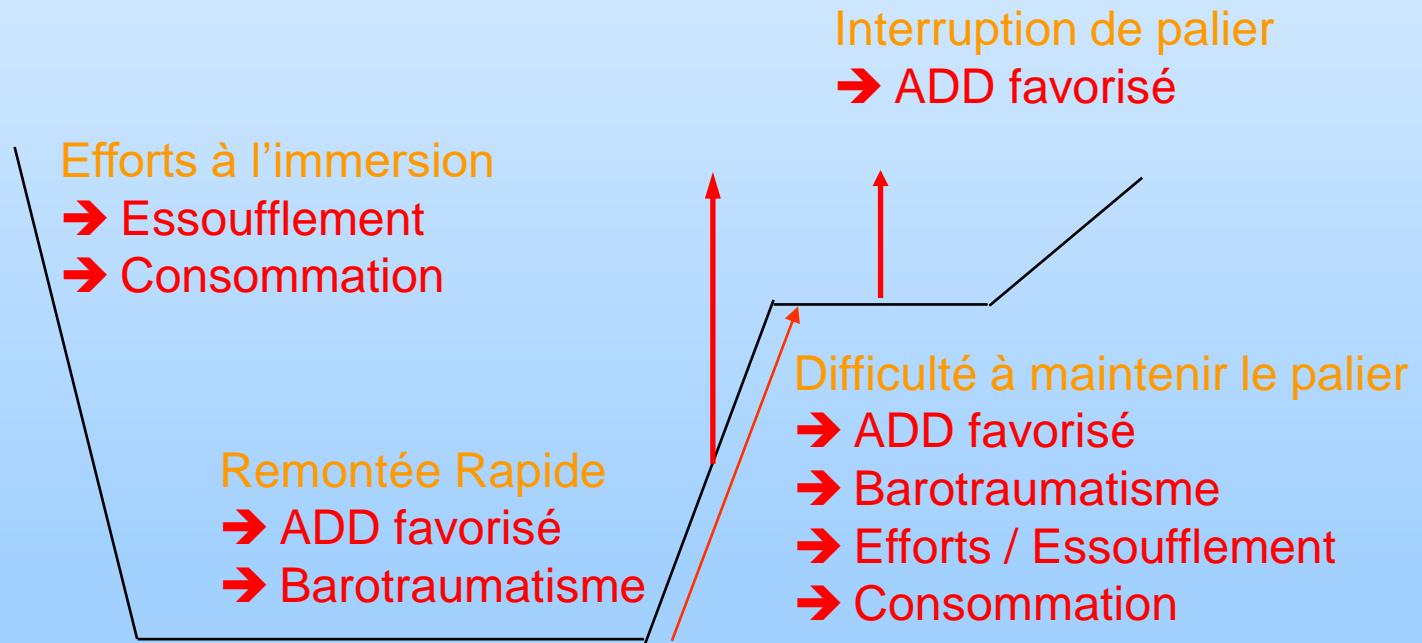
PB – Gilet (Sur/Sous Lestage)

Palmage

=> Stabilisation / Equilibre

## Risques d'une flottabilité inadaptée

### SOUS LESTAGE



Rôle du GP

Sous Lestage

Rôle du GP

Sous Lestage

Sur Lestage

## Risques d'une flottabilité inadaptée

### SUR LESTAGE

Immersion facilité, MAIS



RÔLE DU GP

Efforts pour se maintenir en surface

=> Gonflage gilet + palmage +++

- Essoufflement
- Consommation
- Couler à la mise à l'eau

Effort pour se maintenir au palier

- ADD favorisé
- Barotraumatisme
- Essoufflement
- Consommation => Panne d'air

Effort pour maintenir son niveau d'immersion

=> Manipulation itérative du gilet

=> Position en « hippocampe » et palmage +++

- Inconfort et manque de plaisir
- Risque d'essoufflement => Autonomie diminuée
- Détérioration de la faune et surtout de la flore
- Dépassement de la profondeur plancher !
- Assistance d'un coéquipier plus compliquée !

Rôle du GP

Sous Lestage

Sur Lestage

Test Lestage

## Sécurité et plaisir en plongée pour le GP et les PE

### COMMENT TESTER SON LESTAGE ?

#### 1/ LE TEST EN SURFACE

Sur ventilation normale, gilet vide, bloc plein, sans palmer ni gestes parasites, surface de l'eau à mi masque

Test rapide et en première approximation : Facile à réaliser, indispensable lors de la reprise, ou d'un changement (gravière/mer, nouveau matériel)

## Sécurité et plaisir en plongée pour le GP et les PE

### COMMENT TESTER SON LESTAGE ?

#### 2/ LE TEST AU PALIER, ENTRE 3 ET 6 Mètres

Sur ventilation normale, gilet vide, bloc à 50 bars, sans palmer ni gestes parasites, équilibré au palier :

Poumon Ballast inspiration => On monte

Poumon Ballast expiration => On descend

Test plus fin et précis :

Doit impérativement être réalisé dans un environnement calme (pas de houle)

Rôle du GP

Sous Lestage

Sur Lestage

Test Lestage

## Et donc le Rôle du GP

### RESPONSABLE DE LA PALANQUÉE

#### Surface / Mise à l'eau / Immersion

Prévoir 1 ou 2 Kg de lest suppl.

Contrôle équipement et lestage des PE en fonction..

**Se mettre à l'eau en flottabilité neutre avant les PE**

pour pouvoir intervenir avec masque et détendeur en bouche

Surveiller les mises à l'eau des PE

**Réaliser le test de lestage en surface**

**Vérifier technique d'immersion** (effort et technique) :

Expiration insuffisante ? Ou trop lente ? Apnée expiratoire trop courte ?

Privilégier la descente le long d'un mouillage en coulée plutôt qu'en canard.

#### Au palier :

→ Vérifier le lestage avec le Test au palier

Gérer une ventilation excessive :  
Montrer une ventilation « poumon bas »

Contrôler la consommation  
Gérer la désaturation

#### Au fond :

Vérifier la position dans l'eau, le palmage et les manipulations du gilet stabilisateur

Gérer les défauts de stabilisation éventuels

Contrôler les consommations des membres de la palanquée

Rôle du GP

Sous Lestage

Sur Lestage

Test Lestage

Conclusions

## Les facteurs de la flottabilité



### Stabilisation et équilibre :

Un plongeur stabilisé, en évolution horizontale, s'arrête et se redresse.

### Question pour le cours de physique 3 du 11 décembre :

Pourquoi se trouve-t-il déséquilibré ? Et se sent-il entraîné vers le fond par le bloc ?

# Questions ?

Merci de votre attention et bon courage

A vous de creuser  
maintenant



Maurice SCHAULI

E Mail:

[maurice.schauli@orange.fr](mailto:maurice.schauli@orange.fr)

Tel: 06 13 60 87 15