



# La physique en plongée

par Nicolas Blondeau

## LES PRESSIONS

### ● Définition

Le plongeur subit une augmentation importante de pression lorsqu'il s'immerge.

*La pression est une force sur une surface*

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

P = pression, exprimée en Kg force/cm<sup>2</sup>

F = force, exprimée en Kg force

S = surface, exprimée en cm<sup>2</sup>

L'unité légale est le bar :

$$1 \text{ bar} = 1 \text{ Kg force/cm}^2.$$

On note que la pression est d'autant plus forte :

- si la force exercée est grande,
- si la surface sur laquelle s'exerce cette force est petite.

### Exemple :

Prenons une force égale à 1 tonne force sur une surface de 1 dm<sup>2</sup>, quelle est la pression exercée ?

1 000 Kg force, divisé par 100 cm<sup>2</sup> = 10 bar de pression

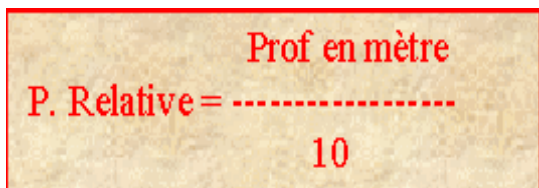
### ● La pression Atmosphérique

Au niveau de la mer on subit la pression atmosphérique qui est de **1 bar** (poids de la colonne d'air s'exerçant sur 1 cm<sup>2</sup> de surface). Elle diminue avec l'altitude. Un litre d'air pèse 1,293 gramme.

## ● La pression Hydrostatique ou pression relative

En immersion, le poids de l'eau vient s'ajouter : c'est la pression hydrostatique (poids de la colonne d'eau s'exerçant sur 1 cm<sup>2</sup> de surface).

*Une colonne d'eau de 10 mètres de haut sur 1 cm<sup>2</sup> de surface, représente 1 bar.*


$$P. \text{ Relative} = \frac{\text{Prof en mètre}}{10}$$

### Exemple :

$$P. \text{ Relative à } 30 \text{ m} \rightarrow 30 / 10 = 3$$

$$P. \text{ Relative à } 47 \text{ m} \rightarrow 47 / 10 = 4.7$$

### Inversement :

|                   |              |                      |
|-------------------|--------------|----------------------|
| P. Relative = 4   | profondeur ? | 4 X 10 = 40 mètres   |
| P. Relative = 5.2 | profondeur ? | 5,2 X 10 = 52 mètres |

## ● Pression absolue

la pression totale que le plongeur reçoit en immersion est la somme des deux pressions ci-dessus.

$$P. \text{ Abs} = P. \text{ Atm} + P. \text{ Relative}$$

### Exemple :

$$P. \text{ Abs à } 40\text{m} = 1 + (40/10) = 5$$

### Inversement :

|                |              |                        |
|----------------|--------------|------------------------|
| P. Abs = 3 bar | Profondeur ? | (3-1) x 10 = 20 mètres |
|----------------|--------------|------------------------|

## ● En plongée

- si l'on descend, la pression augmente
- si l'on remonte, la pression diminue



## LOI DE MARIOTTE

### ● Mise en évidence

|      |  | Pression | Volume     | Produit V x P       |
|------|--|----------|------------|---------------------|
| 0 m  |  | 1 bar    | 10 litres  | 1 x 10 = 10 litres  |
| 10 m |  | 2 bar    | 5 litres   | 2 x 5 = 10 litres   |
| 30 m |  | 4 bar    | 2,5 litres | 4 x 2,5 = 10 litres |
| 40 m |  | 5 bar    | 2 litres   | 5 x 2 = 10 litres   |

Le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression qu'il subit :

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

Ou

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

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

Le volume d'un ballon en surface = 12 litres

Quelle sera son volume à 10 mètres ?

$$1 \times 12 = 2 \times V_2$$

$$V_2 = (1 \times 12) / 2 = 6 \text{ litres}$$

## ● Applications et conséquences en plongée

### ➤ Application

- chargement des bouteilles de plongée,
- amélioration de la flottabilité,
- profondimètres mécaniques,
- levage, bouées...

### ➤ Conséquences

- barotraumatismes,
- accident de décompression,
- consommation en air variable selon la pression.



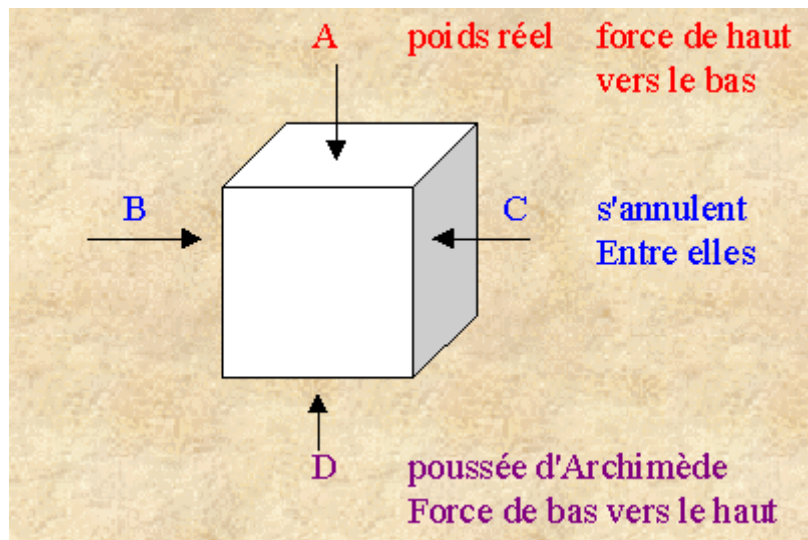
## PRINCIPE D'ARCHIMEDE

(La notion de flottabilité)

Exemple :

Le poids d'un bloc en dehors de l'eau est le poids réel. Dans l'eau, le bloc est moins lourd, c'est le poids apparent.

### ● mise en évidence



### ● Loi

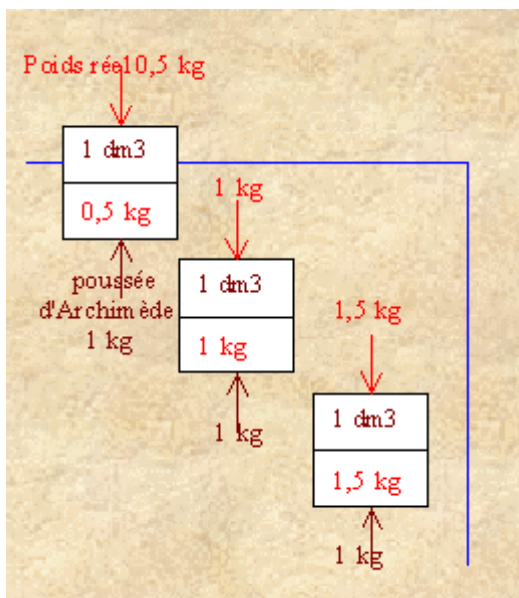
Tout corps plongé dans un liquide reçoit, de la part de ce liquide, une poussée verticale, dirigée de bas en haut, égale au poids du liquide déplacé.

## ● Le poids apparent

### Poids apparent = Poids Réel - Poussée d'Archimède

Prenons un corps et comparons :

- si  $P. \text{ app} > 0$  ➡ flottabilité négative ➡ il coule
- si  $P. \text{ app} = 0$  ➡ flottabilité nulle ➡ équilibre
- si  $P. \text{ app} < 0$  ➡ flottabilité positive ➡ il remonte



|  | Poids apparent | Flottabilité | conséquence |
|--|----------------|--------------|-------------|
| 1) $P \text{ app} = 0,5 - 1 = -0,5 \text{ kg}$ | $< 0$          | Positif      | Remonte     |
| 2) $P \text{ app} = 1 - 1 = 0 \text{ kg}$      | $= 0$          | Nulle        | équilibre   |
| 3) $P \text{ app} = 1,5 - 1 = 0,5 \text{ kg}$  | $> 0$          | Négatif      | coule       |

Exemple :

1) Quel est le poids apparent d'une ancre pesant 32 kg pour un volume de 15 dm<sup>3</sup>

$32 - 15 = 17$  kg, donc elle coule

2) un boîtier de caméra pèse 4 kg et a un volume de 5 dm<sup>3</sup>. Quel poids doit-on ajouter à l'intérieur pour l'équilibrer dans l'eau.

Poids apparent =  $4 - 5 = -1$  kg. On doit ajouter 1 kg pour avoir un poids apparent nul.

### ● Application à la plongée

- poumon ballast,
- calculs de lestages et de levages,
- utilisation du gilet de stabilisation.

### ● Conséquences

- la flottabilité diminue si la profondeur augmente (diminution du volume de la combinaison),
- la flottabilité augmente en cours de plongée, par la consommation de l'air contenu dans la bouteille,
- avec la loi de Mariotte (l'air contenu dans le gilet de stabilisation), le volume d'air augmente à la remontée, donc la poussée d'Archimède sera plus forte. Risque de remonter rapidement.



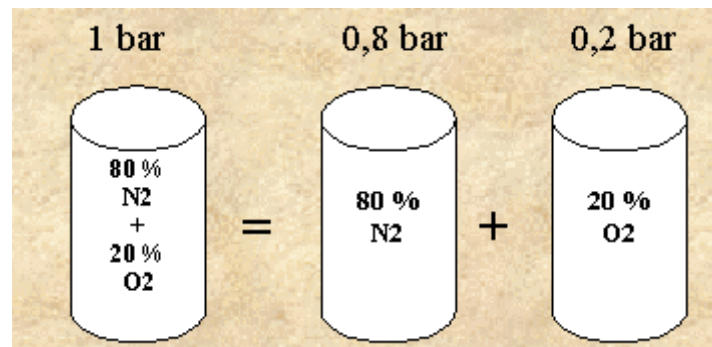
## LOI DE DALTON

Le plongeur respire de l'air comprimé. L'air est composé de plusieurs gaz qui, à partir d'une certaine pression peuvent devenir toxiques. Il faut savoir calculer la pression partielle de chacun de ces gaz.

### ● Composition de l'air

|                                       |   |        |
|---------------------------------------|---|--------|
| Oxygène (O <sub>2</sub> )             | ➡ | 20,9 % |
| Azote (N <sub>2</sub> )               | ➡ | 79 %   |
| Dioxyde de carbone (Co <sub>2</sub> ) | ➡ | 0,03 % |
| Gaze rares : néon, crypton, argon...  | ➡ | 0,07 % |

### ● Mise en évidence



### ● Loi et formule

- La pression partielle d'un gaz dans un mélange est la pression qu'aurait ce gaz s'il occupait seul tout le volume du mélange.
- Dans un mélange gazeux, la somme des pressions partielles des composants de ce mélange est égale à la pression du mélange.
- La pression partielle d'un gaz dans un mélange est obtenue par la formule suivante :

$$P_p = (P \text{ absolue}) \times (\% \text{ du gaz})$$



Exemple :

Quelle est la pression partielle de l'azote respiré en surface ? ➡  $P_p \text{ N}_2 = 1 \times 80/100 = 0,8 \text{ bar}$

Pour l'oxygène ➡  $P_p \text{ O}_2 = 1 \times 20/100 = 0.2 \text{ bar}$

● **Application à la plongée :**

- utilisation de mélanges différents de l'air (nitrox, trimix)
- calcul des tables de plongée

● **Conséquences :**

- toxicité des gaz : accidents bio-chimiques
- mécanisme de l'accident de décompression



## LA LOI D'HENRY

(dissolution des gaz)

Les liquides dissolvent des gaz, exemple : ouverture d'une bouteille de boisson gazeuse.

Le plongeur va dissoudre plus d'azote qu'à la surface.

Conséquence : problème à la remontée, idem pour la bouteille de boisson gazeuse.

### ● Mise en évidence

état de saturation : état d'équilibre

(si  $P_p = T$ )

|              |
|--------------|
| + Patm 1 bar |
| + 1 Q        |

Q = Quantité de gaz dissout

T = tension :

état de sous-saturation : le liquide absorbe le gaz en le dissolvant

(si  $P_p > T$ )

|               |
|---------------|
| ++ Pabs 2 bar |
| + vers 2 Q    |

La quantité augmente progressivement jusqu'à 2 Q

état de sous-saturation : le liquide absorbe le gaz en le dissolvant

(si  $P_p > T$ )

|                |
|----------------|
| +++ Pabs 3 bar |
| ++ vers 3 Q    |

La quantité augmente progressivement jusqu'à 3 Q

état de saturation : état d'équilibre

(si  $P_p = T$ )

|                |
|----------------|
| +++ Pabs 3 bar |
| +++ 3 Q        |

Equilibre parfait entre la pression partielle et la tension

état de sur-saturation : le liquide restitue le gaz dissout.

(si  $P_p < T$ )

|                  |
|------------------|
| + Patm 1 bar     |
| +++ 3 Q vers 1 Q |

La quantité de gaz dissout diminue progressivement jusqu'à la  $P_p$  de 1 bar et crée des micros bulles dans le liquide

On parle de **tension** d'un gaz lorsqu'on est en phase dissoute dans un liquide, et de **pression partielle** d'un gaz dans un mélange lorsqu'on est en phase gazeuse.

En plongée on respire de l'air à la pression ambiante, l'organisme va se charger en N<sub>2</sub> sous l'effet de la pression. Pour éviter la sur-saturation rapide (avec bulles), le plongeur doit remonter lentement (15m/mn) et faire ses paliers si nécessaire. Sinon il a de grande chance de faire un accident de décompression.

### ● Les facteurs de dissolution pour un plongeur

- la profondeur : si elle augmente, Q augmente,
- la profondeur : si elle diminue, Q diminue,
- la durée : si elle augmente, Q augmente,
- l'effort physique : s'il augmente, Q augmente,
- la température : si elle augmente, Q augmente.

### ● La Loi

A température donnée et à saturation, la quantité de gaz dissoute dans un liquide est proportionnelle à la pression du gaz au dessus du liquide.