



L'ÉQUILIBRE DU PLONGEUR

1 – La force

On appelle force toute cause capable de provoquer la déformation ou le déplacement d'un corps. Son unité est le Newton (N).

Une force est caractérisée par :

- Sa direction
- Son sens
- Son point d'application
- Son intensité

La masse d'un objet représente la quantité de matière que l'on peut mesurer avec une balance. La masse d'un objet ne varie pas avec le lieu.

Le poids d'un corps est la force exercée par la pesanteur sur une masse (attraction terrestre). Si la masse de ce corps est m et si g est l'accélération de la pesanteur, le poids du corps est :

$$\text{Poids (Newton)} = \text{masse (kg)} \times \text{gravité (m/s}^2\text{)}$$

En France au niveau de la mer la gravité $g = 9.81 \text{ m/sec}^2$, donc le poids d'une masse de 1 kg est donc 9.81 N.

Lorsque l'on dit que le poids d'une bouteille est de 20 Kg il faudrait dire : la masse de cette bouteille est de 20 kg et son poids est 200 Newtons.

De ce fait la force de la terre sur le plongeur s'appelle le poids et est exprimée en plongée en kg.



Poids du plongeur

2 - La température

Deux échelles de température sont utilisées :

- L'échelle **Celsius** dont le zéro correspond à la température de la glace fondante et la graduation 100 correspond à la température de la vapeur d'eau à l'ébullition. C'est l'échelle que l'on utilise dans la vie courante
- L'échelle **Kelvin** dont le zéro correspond à -273.15°C , température à laquelle l'agitation thermique des atomes deviendrait nulle. Elle est aussi appelée « échelle des degrés absolus ou échelle absolue ». les calculs faisant intervenir la température sont en général faits en degrés Kelvin. La transformation des degrés Celsius en degrés Kelvin se fait par la formule :
 $T^{\circ}\text{ Kelvin} = T^{\circ}\text{ Celsius} + 273$.
Par exemple 21°C correspond à $273+21 = 294^{\circ}\text{K}$

3 – La pression

En plongée, tout ce qui se rapporte à la pression est très important. C'est elle qui par ses variations gouverne les phénomènes physiques qui agissent sur notre corps.

Lorsqu'une force s'exerce sur une surface, l'effet engendré s'exprime par le quotient de l'intensité de cette force par l'aire de surface d'où : **$P = F / S$**

L'unité de cette pression s'exprime en Pascal, millimètre de mercure ou N/mm^2 .

$$100000 \text{ Pa} = 0.1 \text{ N}/\text{mm}^2 = 760 \text{ mm Hg} = 1 \text{ bar} = 1 \text{ atm} = 1 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

En plongée l'unité utilisée est le bar.

L'examen de cette pression montre que pour une force constant la pression diminue lorsque la surface augmente (exemple : les skis, les raquettes pour marcher dans la neige...).

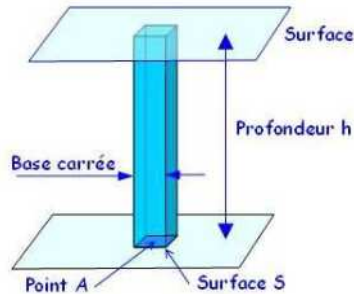
3.1 – la pression atmosphérique

C'est la pression exercée par le poids de l'air autour de la Terre. Elle diminue donc avec l'altitude car plus on monte et moins il y aura de l'air au dessus de nous.

Au niveau de la mer la Pression atmosphérique est d'environ 1 bar ou exactement 1013 millibars, 1 atm, 760 mm Hg.

3.2 – la pression hydrostatique ou relative (par rapport à la surface)

C'est la pression exercée par le poids de l'eau sur le plongeur de 1 bar tous les 10 m.



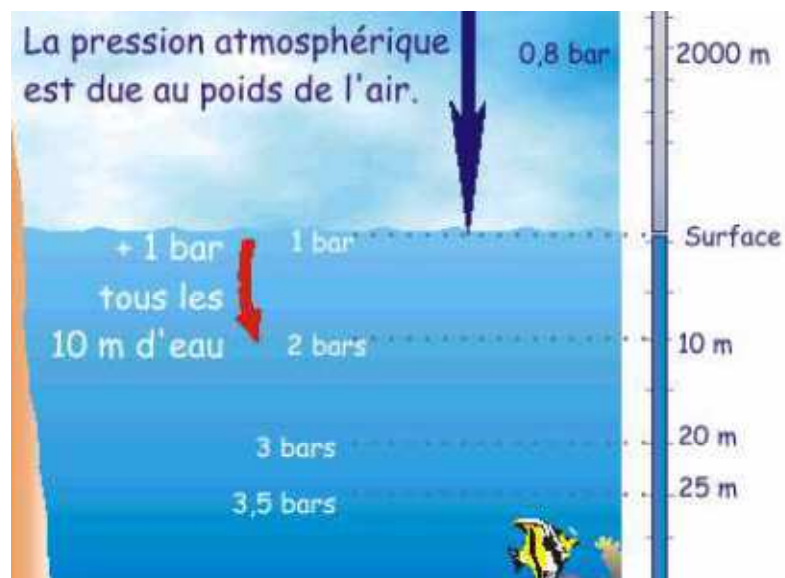
Considérons une colonne d'eau de 10 m de haut et de 1 cm² de section. Son volume est 10000*1 = 1000cm³ = 1 dm³ = 1 litre.

Or 1 litre d'eau douce a une masse de 1 kg et 1 litre d'eau de mer de 1.026 kg. On admet donc pour simplifier que la colonne d'eau de mer a une masse de 1kg. La pression exercée par la colonne d'eau sur la surface (1cm²) est de 1 bar

3.3 – la pression ambiante ou absolue

Pour le plongeur en immersion, la pression absolue est égale à la somme de la pression atmosphérique et de la pression relative.

$$P \text{ absolue} = P \text{ atmosphérique} + P \text{ relative}$$



Le corps du plongeur accepte volontiers de subir une pression ambiante différente qu'en surface. Mais, subir une variation brusque lui est néfaste.

Rôle du guide de palanquée : Etre particulièrement attentif aux variations de pression que les plongeurs de sa palanquée vont subir à la descente et à la remontée.

Les plus grandes variations de pression donc de volume ont lieu dans la zone des 10 m.

4 – La loi de MARIOTTE

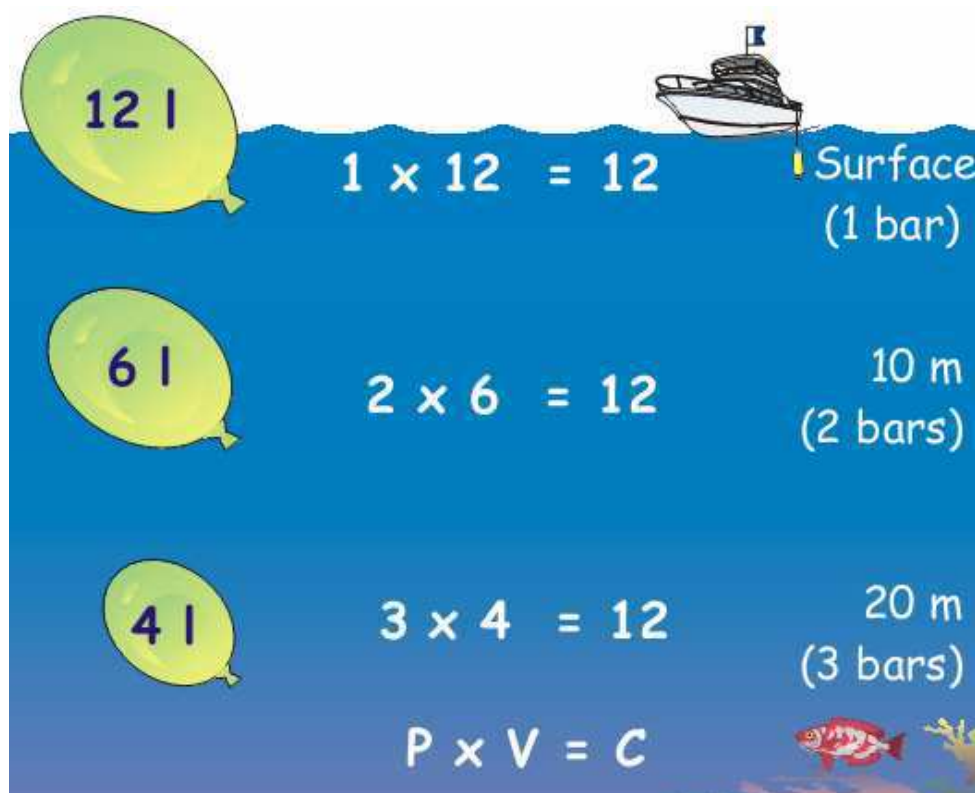
Cette loi sur la compressibilité des gaz a des conséquences importantes pour nous plongeurs, car elle intervient tout au long de notre activité. Elle nous est parfois utile (gilet de sécurité, compresseur, combinaison étanche, parachute, etc.) mais est malheureusement la cause de tous les accidents Barotraumatiques, et intervient aussi dans les accidents de décompressions et leurs traitements.

L'abbé Edmé Mariotte, physicien français a défini la loi qui porte son nom en 1676. En voici la définition :

« A température constante, le volume d'une masse gazeuse est inversement proportionnel à la pression qu'il reçoit ».

« A température constante, le produit de la pression et du volume d'un gaz est une constante PV »

Formation usuelle : $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$ ou $P \times V = \text{constante}$



Plusieurs autres physiciens français reprenant les travaux de Mariotte montrèrent l'influence de la température sur le produit de la pression et du volume d'un gaz. Charles en 1798 et Gay-Lussac en 1802.

Soit : $(P \times V) / T = \text{constante}$ dans laquelle T est exprimée en degrés Kelvin (t° en Celsius + 273).

Expériences vécues par le plongeur :

Après le gonflage : $P=200$ b, bouteille chaude ; après refroidissement P a diminué

Sur le bateau, bouteille au soleil : $P = 210$ b ; après la mise à l'eau $P = 200$ b

Donc : si t augmente alors P x V augmente

Si t diminue alors P x V diminue

Applications :

- Chargement des blocs de plongée
- Amélioration de la flottabilité
- Profondimètres mécaniques
- Levage, bouées

Conséquences :

- Barotraumatismes
- Accidents de décompression
- Consommation en air variable selon la pression
- Variation de la pression dans un bloc en fonction de la température

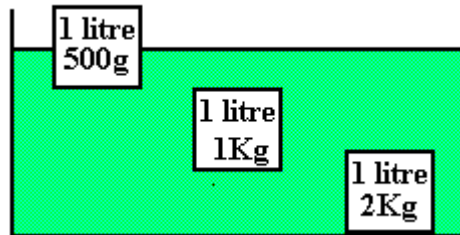
Rôle du guide de palanquée :

- Rester à proximité de jeunes plongeurs à la remontée afin de pouvoir les stopper ou les ralentir à tout moment.
- Rappeler aux plongeurs autonomes (N2) que la variation de pression la plus importante se situe dans la zone de 0 à -10m car elle sera double.
- Se méfier d'un bloc juste gonflé dont la valeur indiquée au manomètre sera plus importante que la valeur réelle.

4 – le principe d'Archimède

Certains objets flottent et d'autres coulent. Expériences vécues en plongée : si on veut être équilibré au palier en fin de plongée on est trop lourd au début car la bouteille pleine est plus lourde et on est trop lourd au fond car les intestins, l'estomac et le néoprène sont écrasés par la pression. Il y a donc une relation entre équilibre dans l'eau, le poids et le volume.

Prenons 3 cubes de 1 l pesant respectivement 0.5 kg, 1 kg et 2 kg et mettons ces cubes dans un bassin :



Le cube de 0.5 kg flotte, y a donc une force qui le pousse vers le haut.

Le cube de 1kg reste en équilibre entre deux eaux, il y a équilibre entre le poids et la force qui pousse le corps vers le haut. **Cette force est donc égale au poids du corps.**

Le cube de 2kg coule, le poids est supérieur à la force qui pousse le corps vers le haut.

La flottabilité du corps dépend donc de son poids et de son volume.

« Tout corps plongé dans un fluide reçoit de la part de celui-ci une poussée verticale, dirigée de bas en haut, égale au poids du volume du fluide déplacé par le corps ».



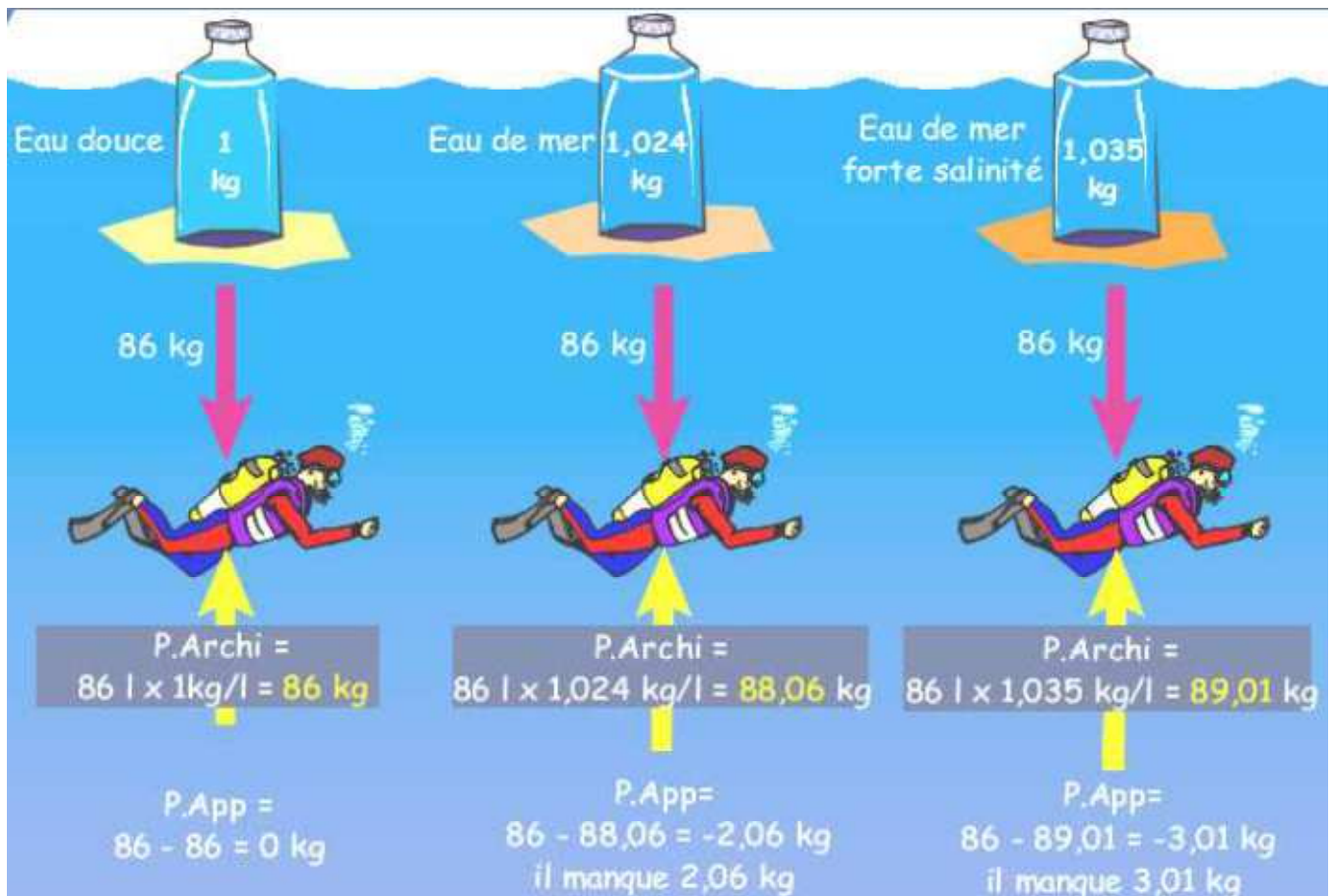
Poussée d'Archimède = volume du plongeur x densité de l'eau

Poids réel d'un objet : poids de l'objet dans l'air.

Poids apparent d'un objet : poids de l'objet dans l'eau

Poids Apparent = Poids Réel - Poussée d'Archimède

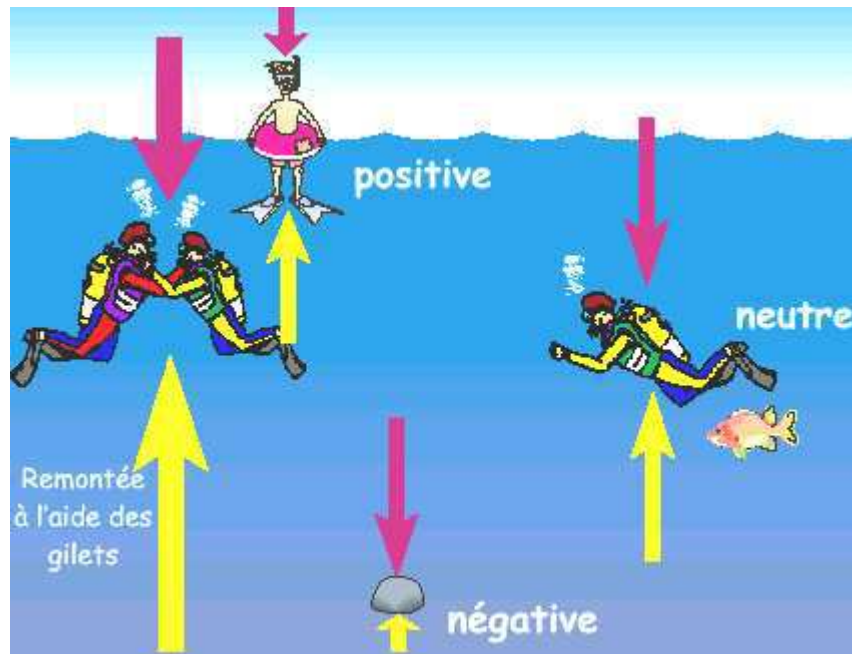
Prenons un plongeur pesant 86 kg et 86 litres de volume :



Si le Poids Apparent est supérieur à 0 alors le corps coule : il y a flottabilité négative

Si le Poids Apparent est égal à 0 alors il y a équilibre : il y a flottabilité nulle

Si le Poids Apparent est inférieur à 0 alors le corps flotte : il y a flottabilité positive



Applications à la plongée :

- Poumon-ballast
- Calcul de lestage et de relevage
- Utilisation de la bouée, contrôle de la vitesse de remontée
- La flottabilité diminue si la profondeur augmente (le volume de la combinaison diminue)

Masse volumique et densité

La **masse volumique** d'une matière est la masse par unité de volume en kg/dm^3 ou kg/l .

· Masse volumique eau de mer = $1,024 \text{ kg}/\text{l}$

· Masse volumique eau douce (lac) = $1 \text{ kg}/\text{l}$

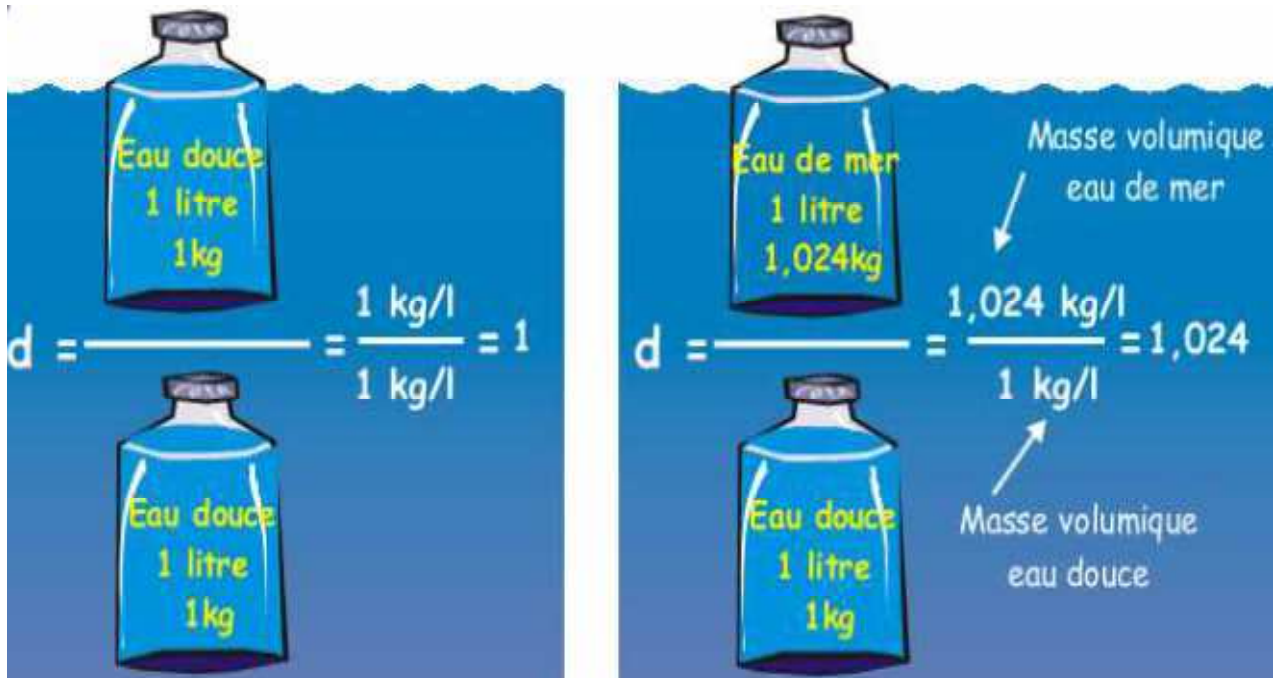
· Masse volumique air = $1,29 \text{ g}/\text{l}$

La **densité** d'une matière est, le rapport de sa masse volumique par celle de l'eau.

Rappel : $1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3$

Quelques densités

Glace $0,90 \text{ g}/\text{cm}^3$ Plomb $11,30 \text{ g}/\text{cm}^3$ Mercure $13,60 \text{ g}/\text{cm}^3$ Fer $7,87 \text{ g}/\text{cm}^3$
 Eau de mer $1,024 \text{ g}/\text{cm}^3$



Plus l'eau est salée, plus la poussée d'Archimède est importante.

Soit V . Objet le volume d'un objet et PV Objet son poids volumique, d'où

$$P. \text{ Réel} = V. \text{ Objet} * PV \text{ Objet}$$

La poussée d'Archimède correspond au poids du volume de fluide déplacé, d'où :

$$P. \text{ Arch} = V. \text{ Objet} * PV. \text{ Liquide}$$

On obtient $P. \text{ App} = V. \text{ Objet} * PV \text{ Objet} - V. \text{ Objet} * PV \text{ Liquide}$, soit en simplifiant :

$$P. \text{ App} = V. \text{ Objet} * (PV \text{ Objet} - PV. \text{ Liquide})$$

Le poids volumique dépend de la densité du fluide (de l'eau pour le plongeur). Or le poids volumique de l'eau de mer est de 1.03 kg/litre (du au sel).

Le volume d'un plongeur est de 70 litres, d'où :

$$\text{En eau douce : } P. \text{ Arch} = 70 * 1 = 70 \text{ kg}$$

$$\text{En eau de mer : } P. \text{ Arch} = 70 * 1.03 = 72.1 \text{ kg}$$

Ceci explique la différence de lestage (environ 2 kg) nécessaire en eau douce et en eau de mer.

5 - Rôle du guide palanquée

En cas de sur lestage :

- **Risque** de couler directement lors de la mise à l'eau.

Prévention : Vérifier que les plongeurs ont gonflé leur gilet avant la mise à l'eau, Se mettre à l'eau en 1er, masque et détendeur en place.

- **Risque** en cas d'assistance, si le gilet est déjà « beaucoup » gonflé.

Prévention : Regarder si le gilet est beaucoup gonflé, s'il y a une utilisation excessive des purges (poumon ballast insuffisant), si problème à garder la profondeur fixée...

- **Risque** d'augmenter la fatigue, d'avoir mal au dos, de hausser la consommation, de détruire les fonds.

Prévention : Vérifier que les plongeurs n'ont pas de difficulté pour rester horizontaux.

- **Risque** en cas de capelé, un gilet trop gonflé oppose une forte résistance dans l'eau et demande plus d'effort.

Prévention : Retour au mouillage.

En cas de sous lestage :

- **Risque** d'essoufflement lors de l'immersion.

- **Risque** de ne pas pouvoir réaliser les paliers.

Prévention : plonger dans la courbe de sécurité.

- **Vérifier le lestage avant de partir**

- **Avoir 1 ou 2 plombs pédagogiques (plomb d'1 kg muni d'un mousqueton).**

- **Surveiller le comportement des plongeurs tout au long de la plongée**

- **Modifier le lestage si changement de tout élément modifiant la flottabilité : combinaison, milieu (lac, mer), bloc....**

Rappel des 2 méthodes pour vérifier le lestage :

Le lestage (ceinture de plomb), est déterminé de façon à permettre un palier de sécurité à -3m, en fin de plongée, avec une bouteille et un gilet vides.

1- Bloc plein + gilet vide + position debout + respiration normale = le niveau de l'eau doit être au niveau des yeux. (Une expiration associée à un phoque permet alors de s'immerger).

2- En fin de plongée, bouteille à 50 bars, gilet vide, maintien du palier à environ -3m sans effort de palmage.

Autre façon : Pour 1 plongeur débutant ou baptême, ceinture de lest doit être environ le 1/10 du poids du plongeur diminué de 1kg (ex : plongeur de 80Kg, ceinture 8-1=7Kg).

